

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. М. Ревяко, О. М. Касперович

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

*Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего
образования по специальности «Химическая технология
органических веществ, материалов и изделий»*

Минск 2012

УДК 678.06(075.8)

ББК 35.71я73

Р32

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»

БНТУ (доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой *К. Е. Белявин*);

доктор технических наук, профессор, заведующий отделом
технологии полимерных композиционных материалов и изделий
ГНУ «ИММС им. В. А. Белого НАН Беларуси» *С. С. Песецкий*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Ревяко, М. М.

Р32 Расчет и конструирование пластмассовых изделий и форм :
учеб. для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» / М. М. Ревяко, О. М. Касперович. – Минск : БГТУ, 2012. – 432 с.
ISBN 978-985-530-210-1.

В учебнике изложены основы взаимозаменяемости и технические измерения, рассмотрены вопросы конструирования пластмассовых изделий с учетом специфики свойств пластмасс и условий эксплуатации, расчет и конструирование технологической оснастки для различных методов получения данных изделий.

Предназначен для студентов специальности «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», а также представляет интерес для студентов специальностей «Упаковочное производство», «Машины и технология обработки материалов давлением», «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов».

УДК 678.06(075.8)

ББК 35.71я73

ISBN 978-985-530-210-1

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2012

© Ревяко М. М., Касперович О. М., 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция расширения масштабов использования практически во всех отраслях народного хозяйства изделий из пластмасс, позволяющих обеспечивать необходимые требования различных потребителей. Это вовлекает в процесс создания пластмассовых изделий большое количество конструкторов, технологов. Специфика конструирования пластмассовых изделий из новых материалов, по новым технологиям, модификаций технологических процессов, которые уже реализуются в производстве, заключается в организации обязательных этапов моделирования и прототипирования – в настоящее время разработаны и внедрены компьютерные методы, позволяющие конструктору существенно ускорить принятие решений.

При разработке конструкций технологической оснастки необходимо решать вопросы термостатирования, гидродинамики заполнения оформляющей полости материалом, прочности, взаимозаменяемости и точности, надежности и долговечности, безопасной эксплуатации. Конструктор, понимающий причинную связь между конструктивным решением и эксплуатацией оснастки, может выбрать более обоснованное решение, что способствует более высокой конкурентоспособности. Инженер должен сокращать затраты времени и средств, а это возможно при компьютерном проектировании технологической оснастки с помощью разных прикладных программ.

В первой из четырех глав учебника изложены основы взаимозаменяемости и технические измерения, система допусков и посадок гладких деталей и соединений, термины и определения шероховатости поверхности, правила обозначения шероховатости на чертеже.

Во второй главе рассмотрены вопросы конструирования пластмассовых деталей, особенности конструкций, обусловленные технологическими требованиями.

Третья глава посвящена общим вопросам проектирования технологической оснастки для изготовления пластмассовых изделий.

В четвертой главе приведены данные по конструированию оснастки для производства пластмассовых изделий. Подробно рассмотрены особенности конструкции форм для литья под давлением, прессформ для прессования, оснастки для раздувного и пневмовакуумного формования, а также формующий инструмент экструдеров.

1. ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ [1, 2]

1.1. Основные термины и определения

1.1.1. Размеры, отклонения, допуски

Термины и определения по допускам и посадкам, общепринятые для всех видов соединений, регламентированы ГОСТ 25346–89.

Размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. д.). *Действительным* называют размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер, называются *предельными*. Большой из них называется наибольшим предельным размером, меньший – наименьшим предельным размером (рис. 1.1).

Номинальный размер – размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяют предельные размеры. Для деталей, составляющих соединение, номинальный размер является общим.

Не любой размер, полученный в результате расчета, может быть принят за номинальный. Чтобы повысить уровень взаимозаменяемости, уменьшить номенклатуру изделий и типоразмеров заготовок, стандартного или нормализованного режущего и измерительного инструмента, оснастки и калибров, создать условия для специализации и кооперирования предприятий, удешевления продукции, значения размеров, полученные расчетом, следует округлять в соответствии со значениями, указанными в ГОСТ 6636–69. При этом полученное расчетом или иным путем исходное значение размера, если оно отличается от стандартного, следует округлить до ближайшего большего стандартного размера. Стандарт на нормальные линейные размеры построен на базе рядов предпочтительных чисел ГОСТ 8032–84, принятых в стандартах ISO и ЕСДП. Наиболее широко используют ряды предпочтительных чисел, построенные по геометрической прогрессии.

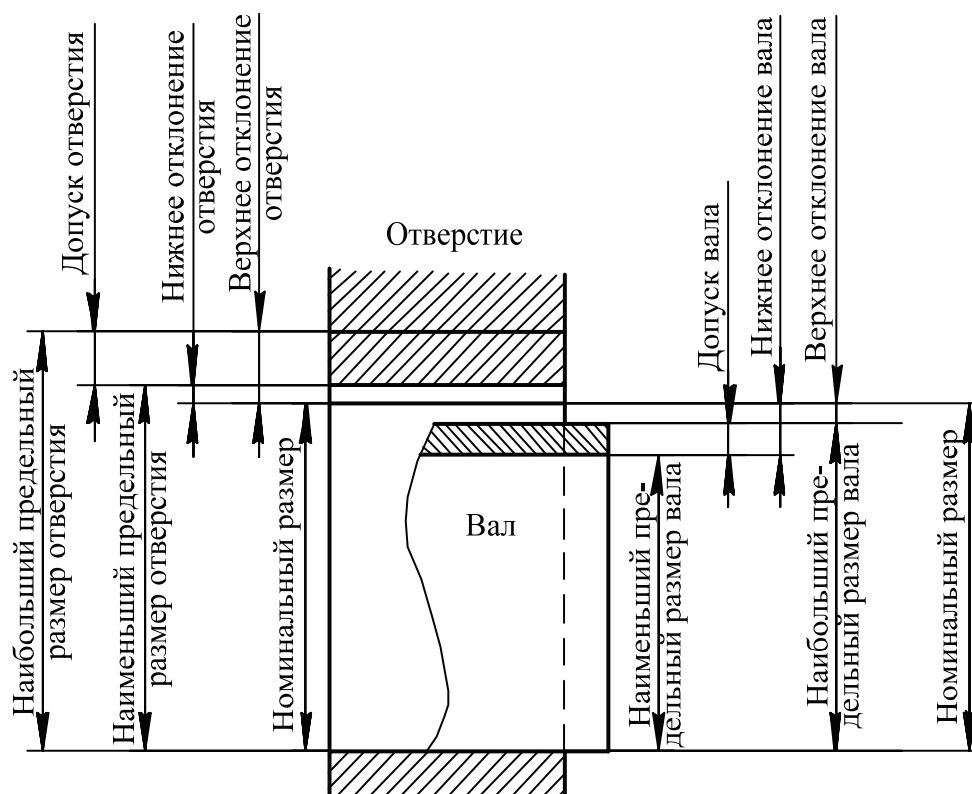


Рис. 1.1. Расположение полей допусков отверстия и вала при посадке с зазором (отклонения отверстия положительные, отклонения вала отрицательны)

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т. д.) и соответствующим номинальным размером. **Действительное отклонение** – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами. Отклонение является положительным, если действительный размер больше номинального, и отрицательным, если он меньше номинального. Если действительный размер равен номинальному, то его отклонение равно нулю.

Предельным отклонением называется алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее отклонения. Верхнее отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Из определения имеем:

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D; \quad EI = D_{\min} - D; \\ es &= d_{\max} - d; \quad ei = d_{\min} - d. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Для упрощения и удобства работы на чертежах и в таблицах стандартов на допуски и посадки вместо предельных размеров принято проставлять значения предельных отклонений: верхнего и нижнего. Отклонения всегда указывают со знаками «+» или «–». Верхнее предельное отклонение ставится несколько выше номинального размера, а нижнее – несколько ниже. Отклонения, равные нулю, на чертеже не проставляют. Если верхнее и нижнее предельные отклонения равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку, то числовое значение отклонения указывают со знаком \pm ; отклонение указывают вслед за номинальным размером. Например:

$$28_{-0,054}^{-0,033}; 50_{+0,010}^{+0,029}; 35_{+0,030}^{+0,030}; 40 \pm 0,008.$$

Основное отклонение – одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения поля допуска относительно нулевой линии. Обычно таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от нее откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Допуск размера – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами, или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями:

$$\begin{aligned} T_D &= D_{\max} - D_{\min}; \quad T_d = d_{\max} - d_{\min}; \\ T_D &= ES - EI; \quad T_d = es - ei. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Слова «алгебраическая разность» означают, что в формулы (1.2) предельные отклонения должны входить с их знаками.

Допуск является мерой точности размера. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, тем меньше допускается колебание действительных размеров детали.

Допуск системы (стандартный допуск) – любой из допусков, устанавливаемый данной системой допусков. При изложении системы допусков и посадок под термином «допуск» понимается допуск системы.

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется числовым значением допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом

изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Требования к точности размеров можно нормировать несколькими способами. Можно указать два предельных размера, между которыми должны находиться размеры годных деталей; можно дать номинальный размер и два отклонения от него (верхнее и нижнее), а можно дать значение номинального размера, основные отклонения от него (верхнее или нижнее, ближайшее к номинальному размеру) и допуск на размер (тогда второе отклонение получается добавлением величины допуска к основному отклонению).

1.1.2. Сопряжение деталей.

Система отверстия и система вала

В соединении деталей, входящих одна в другую, есть охватывающие и охватываемые поверхности. **Вал** – термин, применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов деталей. Термины «отверстие» и «вал» относятся не только к цилиндрическим деталям круглого сечения, но и к элементам деталей другой формы, например ограниченным двумя параллельными плоскостями.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю ($es = 0$).

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю ($EI = 0$).

Зазор – разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала. Зазор обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей.

Натяг – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки.

Наибольший и наименьший зазоры (натяги) – два предельных значения, между которыми должен находиться зазор (натяг).

Средний зазор (натяг) есть среднее арифметическое между наибольшим и наименьшим зазорами (натягами).

Рис. 1.2, *а* дает искаженное представление о характере соединения вала и втулки, так как здесь невозможно выдержать масштаб: диаметры обычно измеряются десятками миллиметров, а допуски – микрометрами. Поэтому в технической литературе и стандартах используют схему сопряжения деталей, приведенную на рис. 1.2, *б*. Из него видно, что вся нижняя часть рис. 1.2, *а* отброшена, оставлен лишь след верхней образующей номинального диаметра, называемый нулевой линией. От нее строго в масштабе откладываются предельные отклонения отверстия и вала с учетом их знаков. Заштрихованные прямоугольники высотой T_D и T_d представляют собой поля допусков отверстия и вала. Поля допусков ограничиваются линиями, соответствующими верхним и нижним отклонениям размеров.

Схема рис. 1.2, *б* проста, удобна, не содержит лишних обозначений, позволяет легко определять предельные размеры сопряженных деталей и характер посадки.

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда обеспечивается натяг в соединении. В посадках с натягом поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 1.3).

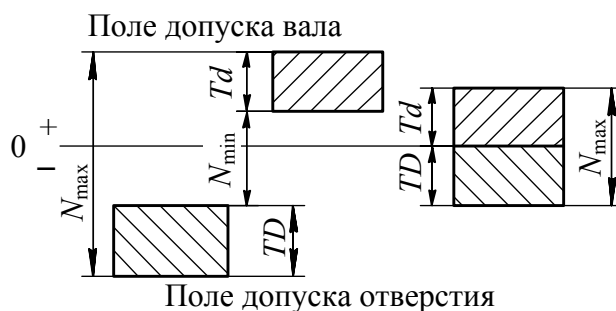


Рис. 1.3. Схема расположения полей допусков для посадок с натягом

Для посадок с натягом:

$$\begin{aligned} N_{\min} &= d_{\min} - D_{\max} = ei - ES; \\ N_{\max} &= d_{\max} - D_{\min} = es - EI. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Допуск зазора

$$T_N = N_{\max} - N_{\min} = (es - ei) + (ES - EI) = T_D - T_d. \quad (1.6)$$

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении. В такой посадке поля допусков отверстия и вала полностью или частично

перекрывают друг друга (рис. 1.4). Переходные посадки характеризуются наибольшим значением натяга и зазора:

$$N_{\max} = es - EI; \quad S_{\max} = ES - ei. \quad (1.7)$$

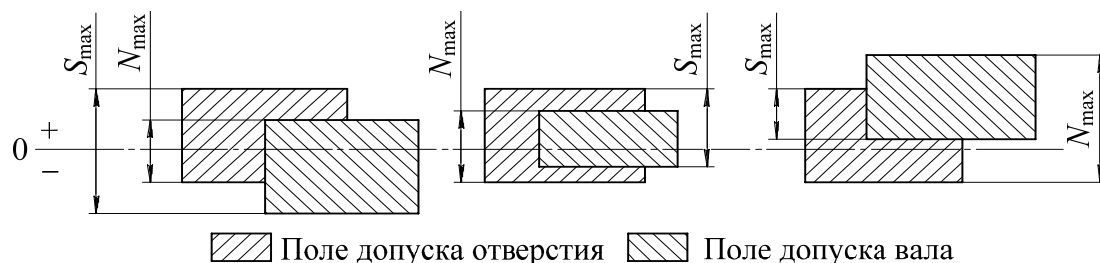


Рис. 1.4. Схема расположения полей допусков для переходных посадок

Допуск переходной посадки (допуск натяга или допуск зазора)

$$T_N = T_S = N_{\max} - N_{\min} = S_{\max} - S_{\min} = (ES - EI) + (es - ei) = T_D - T_d. \quad (1.8)$$

Таким образом, для любой посадки, независимо от ее типа, допуск посадки есть сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

В машиностроении и приборостроении широко используются посадки всех трех групп: с зазором, натягом и переходные. Посадку любой группы можно получить путем изменения размеров либо обеих сопрягаемых деталей, либо одной сопряженной детали. На рис. 1.5, а изображена схема осуществления различных посадок путем изменения размеров только валов.

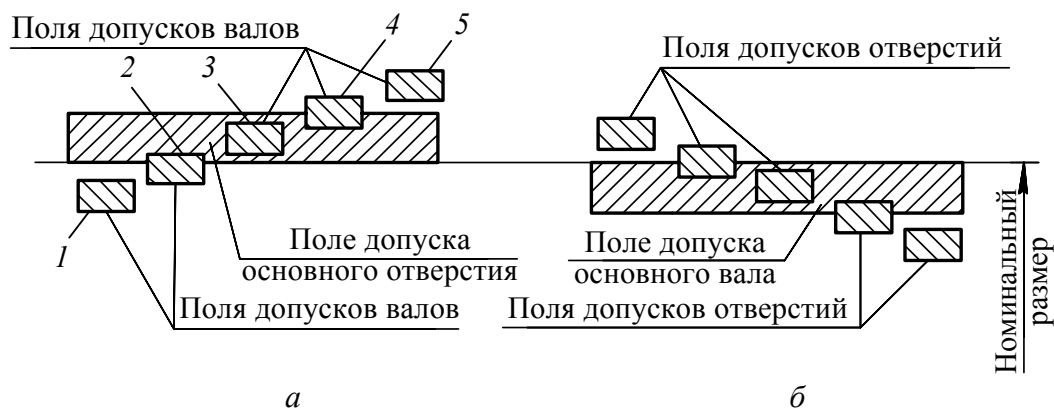


Рис. 1.5. Примеры посадок:
а — в системе отверстия; б — в системе вала

Несмотря на то, что предельные размеры отверстия заданного номинального диаметра и определенной точности не изменяются,

возможно получение посадок с зазором (1), переходных (2–4) и с натягом (5).

Совокупность посадок, в которых предельные отклонения отверстий одного номинального размера и одной точности одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений валов, называется **системой отверстия**. Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия $EI = 0$, т. е. нижняя граница поля допуска основного отверстия совпадает с нулевой линией.

На рис. 1.5, б изображена схема осуществления посадок всех трех групп путем изменения размеров только отверстия при неизменных предельных размерах вала. Совокупность посадок, в которых предельные отклонения вала одного номинального размера и одной точности одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений отверстий, называется **системой вала**. Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение основного вала $es = 0$, т. е. верхняя граница поля допуска вала всегда совпадает с нулевой линией.

Обе системы равноправны и имеют примерно одинаковый характер одноименных посадок, т. е. предельные зазоры и натяги. В каждом конкретном случае на выбор той или иной системы оказывают влияние конструкторские, технологические и экономические соображения. Вместе с тем следует обратить внимание на то, что точные валы разных диаметров могут обрабатываться на станках одним инструментом при изменении только наладки станка. Точные же отверстия обрабатывают мерным режущим инструментом (зенкеры, развертки, протяжки и т. п.), причем для каждого размера отверстия требуется свой комплект инструмента. В системе отверстия различных по предельным размерам отверстий во много раз меньше, чем в системе вала, а следовательно, сокращается номенклатура дорогостоящего инструмента. Поэтому преимущественное распространение получила система отверстия. Однако в отдельных случаях приходится использовать систему вала. Приведем некоторые примеры предпочтительного применения системы вала:

1) во избежание концентрации напряжений в месте перехода с одного диаметра на другой по прочностным соображениям нежелательно делать ступенчатый вал, и тогда его выполняют с постоянным диаметром;

2) при ремонте, когда имеется готовый вал и под него делается отверстие;

3) по технологическим соображениям, когда стоимость изготовления вала, например на бесцентрово-шлифовальных станках, оказывается небольшой, выгодно применять систему вала;

4) при использовании стандартных узлов и деталей. Например, наружный диаметр подшипников качения изготавливается по системе вала. Если делать наружный диаметр подшипника в системе отверстия, то потребовалось бы значительно расширить их номенклатуру, а обрабатывать подшипник по наружному диаметру нецелесообразно;

5) когда на вал одного диаметра необходимо установить несколько отверстий с разным видом посадок.

1.2. Системы допусков и посадок для гладких деталей и соединений

Необходимую посадку при соединении деталей можно получить при разных соотношениях отклонений их размеров от номинального размера. Единый подход к нормированию требований к размерам деталей выражается в создании системы допусков и посадок.

Системой допусков и посадок называется построенная на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований совокупность допусков, предельных отклонений размеров, посадок отверстий и валов, оформленных в виде стандарта.

Разработка национальной системы допусков и посадок в СССР велась с 1924 г. В 1929 г. были утверждены первые стандарты системы, которая условно называлась системой ОСТ. С 1971 г. страны-члены СЭВ приступили к разработке на базе международной системы допусков и посадок ISO Единой системы допусков и посадок СЭВ (ЕСДП СЭВ). ЕСДП СЭВ является модификацией системы ISO. Она излагает систему ISO, определяет отборы полей допусков и посадок из этой системы и в отдельных положениях дополняет ее с учетом потребностей народного хозяйства страны. Переход на ЕСДП СЭВ в народном хозяйстве СССР осуществлялся постепенно с 01.01.1977 по 01.01.1980. С 01.07.1983 в СССР введена ЕСДП, объединяющая группу стандартов, образующих ЕСДП СЭВ.

Переход на ЕСДП имеет следующие преимущества:

– повышается эффективность совместных проектно-конструкторских работ и сокращаются сроки проектирования;

- повышается эффективность международной специализации и кооперирования при производстве машин, узлов, деталей, технологической оснастки, размера инструмента и т. д.;
- сокращаются сроки подготовки и удешевляется производство изделий по документации из других стран, включая лицензии;
- повышается конкурентоспособность отечественной продукции на международном рынке;
- снижаются затраты на внедрение импортного оборудования;
- повышается эффективность обмена научно-технической документацией без переработки.

Вместе с тем необходимо отметить следующее важное обстоятельство: по целому ряду изделий, спроектированных до перехода на новую систему, в промышленности Республики Беларусь нецелесообразно перерабатывать документацию в соответствии с новой системой. Поэтому без ограничения времени в промышленности будут действовать две системы ЕСДП и система ОСТ.

Любая система допусков и посадок должна обладать определенными признаками, среди которых можно выделить:

- интервалы размеров;
- единицы допуска;
- ряды допусков;
- поля допусков;
- посадки в системе отверстия и в системе вала;
- температурный режим.

ЕСДП для гладких деталей и соединений изложена в стандартах, указанных в табл. 1.1. В системе ОСТ сведения, аналогичные приведенным в табл. 1.1, для диапазона размеров до 10 000 мм содержатся в 27 государственных стандартах.

Таблица 1.1

**Стандарты на единую систему допусков и посадок (ЕСДП)
для гладких соединений**

Номер стандарта	Наименование стандарта	Диапазон охватываемых размеров, мм
ГОСТ 25346–89 (СТ СЭВ 145–88)	ОНВ. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений	Общие положения для всех размеров; допуски и основные отклонения для размеров 0–3 150
ГОСТ 25347–82 (СТ СЭВ 144–88)	ОНВ. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки	0–3 150

Окончание табл. 1.1

Номер стандарта	Наименование стандарта	Диапазон охватываемых размеров, мм
ГОСТ 25348–82 (СТ СЭВ 177–75)	ОНВ. ЕСДП. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм	3 150–10 000
ГОСТ 25349–88 (СТ СЭВ 179–87)	ОНВ. ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс	0–3 150
ГОСТ 30.893.1–2002 (ИСО 2768-1–89)	ОНВ. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и условных размеров с неуказанными допусками	0–10 000

1.2.1. Единицы допусков

Величина допуска на размер еще не характеризует степень точности или технологическую сложность обработки. Сравнивая обработку вала $\varnothing 10$ мм с допуском $Td_1 = 0,015$ мм и вала $\varnothing 45$ мм с допуском $Td_2 = 0,025$ мм, трудно сказать, какой вал сложнее обработать, т. е. какой из них имеет большую точность. Как показывает практика, погрешности механической обработки увеличиваются с возрастанием диаметра детали, однако установление количественной зависимости связано с преодолением серьезных трудностей. Для ее определения было проведено детальное исследование наиболее распространенных технологических процессов обработки: обтачивания, шлифования, сверления, развертывания и др.

Зависимость допуска от номинального размера, являющаяся мерой технологической точности, получила название единицы допуска.

В ЕСДП для размеров до 500 мм единица допуска определяется по формуле

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D ; \quad (1.8)$$

для размеров свыше 500 до 10 000 мм по формуле

$$l = 0,004 D + 2,1 . \quad (1.9)$$

В формулах (1.8) и (1.9) $D = \sqrt{D_{\max} \cdot D_{\min}}$ – среднегеометрическое значение интервала номинальных размеров в миллиметрах; i и l – в микрометрах.

Единица допуска в системе ОСТ для размеров от 1 до 500 мм и для размеров свыше 500 до 10 000 мм определяется по формулам:

$$i = 0,5\sqrt[3]{d_{\text{cp}}} ; \quad (1.10)$$

$$l = 0,45\sqrt[3]{d_{\text{cp}}} + 0,001d_{\text{cp}} . \quad (1.11)$$

В формулах (1.10) и (1.11) $d_{\text{cp}} = \frac{d_{\text{max}} + d_{\text{min}}}{2}$ – среднеарифметическое значение интервала номинальных размеров.

Второй член в формулах (2.1) и (2.4) учитывает погрешности измерения из-за разности температур детали и прибора, а также погрешности самих измерений, например упругих деформаций под действием измерительного усилия. Для малых размеров он несущественен, однако с увеличением D и d_{cp} быстро возрастает.

1.2.2. Ряды допусков

В зависимости от назначения к деталям, имеющим одинаковый номинальный размер, предъявляются различные точностные требования. Чтобы обеспечить возможность обработки деталей с различной степенью точности, нужно нормировать разные допуски. Каждая система имеет такие ряды допусков, которые в ЕСДП, как и в международной системе ISO, называются квалитетами, а в системе ОСТ – классами точности. Эти термины являются синонимами.

Квалитет (класс точности) – это совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Использование термина «квалитет» вместо «класс точности» введено для того, чтобы сразу было ясно, о какой системе допусков и посадок идет речь.

В ЕСДП, как и в ISO, установлено 20 квалитетов, обозначаемых порядковыми номерами, возрастающими с увеличением допуска: 01; 0; 1; 2; 3; ...; 15; 16; 17; 18. Допуск по квалитету обозначается буквами IT, за которыми следует номер квалитета. Например, IT12 означает допуск по 12-му квалитету. Просто допуск без отнесения к системе обозначается буквой T.

Количество квалитетов определялось с учетом потребности различных отраслей промышленности, перспектив повышения точности изделий, границ достижимой точности, функциональных

и технологических факторов, принятых значений знаменателя геометрической прогрессии.

Назначение необходимого квалитета – сложная технико-экономическая задача. Выбор квалитетов для различных размеров деталей во многих случаях определяется решением размерных цепей, в состав которых входят длины, толщины, уступы, глубины впадин и другие размеры. Можно указать общие рекомендации по назначению квалитетов для деталей, образующих рекомендованные посадки.

Точные квалитеты (01; 0; 1) назначаются редко, главным образом для изготовления плоскопараллельных концевых мер длины, допуски по 1–4-му квалитетам применяются обычно при изготовлении рабочих и контрольных калибров. 4-й и 5-й квалитеты применяют редко, в особо точных соединениях, не допускающих заметного изменения натяга или зазора. Их иногда используют для установки точных подшипников, поршневых колец, высокоточных зубчатых колес и т. п. Часто заданного допуска посадки достигают при использовании более грубых квалитетов и селективной сборки.

6-й и 7-й квалитеты используют в ответственных сопряжениях, когда к посадкам предъявляются требования определенности, а к деталям взаимозаменяемости для обеспечения точной сборки. Примеры: установка подшипников качения нормальной точности, зубчатых колес средней точности, подшипников жидкостного трения, для подвижных соединений в кривошипно-шатунных механизмах двигателей внутреннего сгорания, переходные посадки, посадки с натягами средней величины и т. д. В автомобильной, авиационной, станкостроительной, турбостроительной промышленности 60–70% ответственных сопряжений выполняется в этих квалитетах.

8-й и 9-й квалитеты применяют для получения относительно больших гарантированных зазоров и натягов и для посадок, обеспечивающих среднюю точность сборки. Примеры: сопрягаемые поверхности в посадках с большими натягами, отверстия в переходных посадках пониженной точности, опоры скольжения средней точности в условиях полужидкостного трения и др.

10-й квалитет применяют в посадках с зазором в тех же случаях, что и 9-й квалитет, когда условия сборки или эксплуатации допускают увеличение колебаний зазоров в соединениях.

11-й и 12-й квалитеты применяют для грубых соединений с большими гарантированными зазорами, для неответственных соединений (детали из пластмасс, штампованные детали, крышки, фланцы и т. п.).

Грубые квалитеты (13–17-й) применяются для габаритных размеров и для неотчетливых деталей.

Для сопряжений используется только восемь квалитетов для отверстий (с 5-го по 12-й) и девять квалитетов для валов (с 4-го по 12-й). Остальные квалитеты применяются для несопрягаемых элементов детали.

В системе ОСТ для размеров от 1 до 500 мм образовано 19 классов точности, обозначаемых цифрами 09; 08; ...; 02; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5; 7; 8; 9; 10 в порядке убывания точности (увеличения допуска). Для размеров более 500 мм образовано 12 классов точности (ГОСТ 2689–54).

Таблица 1.2

**Сравнительная таблица квалитетов с классами точности ОСТ
для размеров от 1 до 500 мм**

Класс точности по ОСТ	Квалитет	
	Основной вал	Основное отверстие
09	–	5
1	5 (не полностью) 6 (частично)	6
2	6 (не полностью) 7 (частично) 8 (частично)	7 (не полностью) 8 (частично)
2а	7 (не полностью) 8 (частично)	8 (не полностью)
3	8/9 9 (частично)	8/9
3а	10	10
4	11	11
5	12/13	12/13
7	14	14
8	15	15
9	16	16
10	17	17

1.2.3. Нанесение размеров, предельных отклонений и посадок на чертежах

Нанесение размеров. Основные правила распределения размеров на чертежах, общие правила нанесения размеров, выносных и размерных линий, сокращенные записи и условности при нанесении размеров устанавливает ГОСТ 2.307–68.

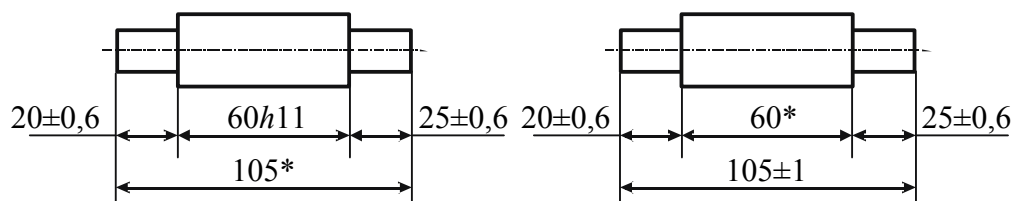
Общее число размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия. Размеры представляют от баз, которые выбраны с учетом технологических и конструктивных требований.

Деталь на рабочем чертеже следует изображать в том виде, с теми размерами, предельными отклонениями, шероховатостью поверхностей, допусками формы и расположения и другими данными, которым она должна соответствовать перед сборкой. Размеры, предельные отклонения, допуски формы и расположения и шероховатость поверхностей, которые должны обеспечиваться обработкой в процессе сборки или после нее, указывают на сборочном чертеже. Исключение составляют детали, при изготовлении которых предусматривается припуск на последующую обработку в процессе сборки. Такие детали изображают на чертеже с размерами, предельными отклонениями и другими данными, которым они должны соответствовать после окончательной обработки. Причем эти размеры и другие данные заключают в круглые скобки, а в технических требованиях делают запись типа: «Размеры в скобках – после сборки».

Размеры, не подлежащие выполнению по данному чертежу и указываемые для большего удобства пользования чертежом, называются *справочными*. Справочные размеры на чертеже отмечают знаком «*», а в технических требованиях записывают «*Размеры для справок». Если все размеры на чертеже справочные, их знаком «*» не отмечают, а в технических требованиях записывают: «Размеры для справок».

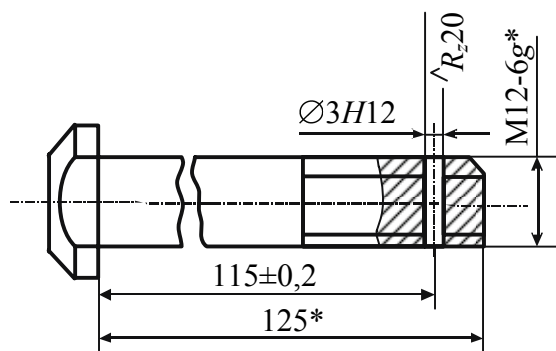
К справочным относят следующие размеры: а) один из размеров замкнутой размерной цепи; предельные отклонения таких размеров на чертеже не указывают (рис. 1.6, а); б) размеры, которые переносят с чертежей изделий – заготовок (рис. 1.6, б); в) размеры, определяющие положение элементов детали, подлежащих обработке по другой детали (рис. 1.6, в); г) размеры на сборочном чертеже, по которым определяют предельные положения отдельных элементов конструкции, например ход поршня; д) размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей и используемые в качестве *установочных* и *присоединительных* (установочные и присоединительные размеры определяют величины элементов, по которым данное изделие устанавливают на месте монтажа или присоединяют к другому изделию); е) *габаритные размеры* на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей или являющиеся суммой размеров нескольких деталей (габаритные размеры определяют предельные

внешние или внутренние очертания изделия); ж) размеры деталей (элементов) из сортового, фасонного, листового и другого проката, если они полностью определяются обозначением материала, приведенным в основной надписи в графе «Материал».



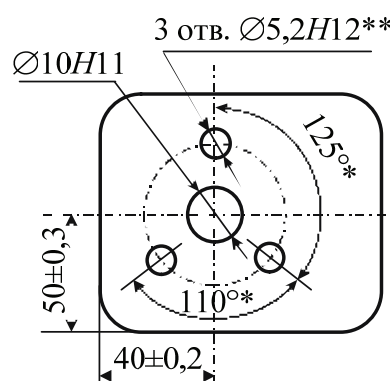
* Размеры для справок

а



* Размеры для справок

б



* Размеры для справок

** Обрабатывать по сопрягаемой детали (или по детали ...)

в

Рис. 1.6. Нанесение размеров для справок

Для всех размеров, нанесенных на рабочих чертежах, должны быть указаны предельные отклонения. Допускается не указывать предельные отклонения в следующих случаях:

- а) для справочных размеров;
- б) размеров, определяющих зоны различной шероховатости одной и той же поверхности, зоны термообработки, покрытия, отделки, рифлений, насечки, а также диаметры рифленых и насеченных поверхностей; в этих случаях непосредственно у таких размеров ставят знак «≈»;
- в) для размеров деталей индивидуального производства, задаваемых с припуском на пригонку; на таких чертежах в непосредственной близости от указанных размеров наносят знак «*», а в технических требованиях помещают запись типа:

Размеры, определяющие положение симметрично расположенных поверхностей у симметричных деталей, наносят, как показано на рис. 1.8.

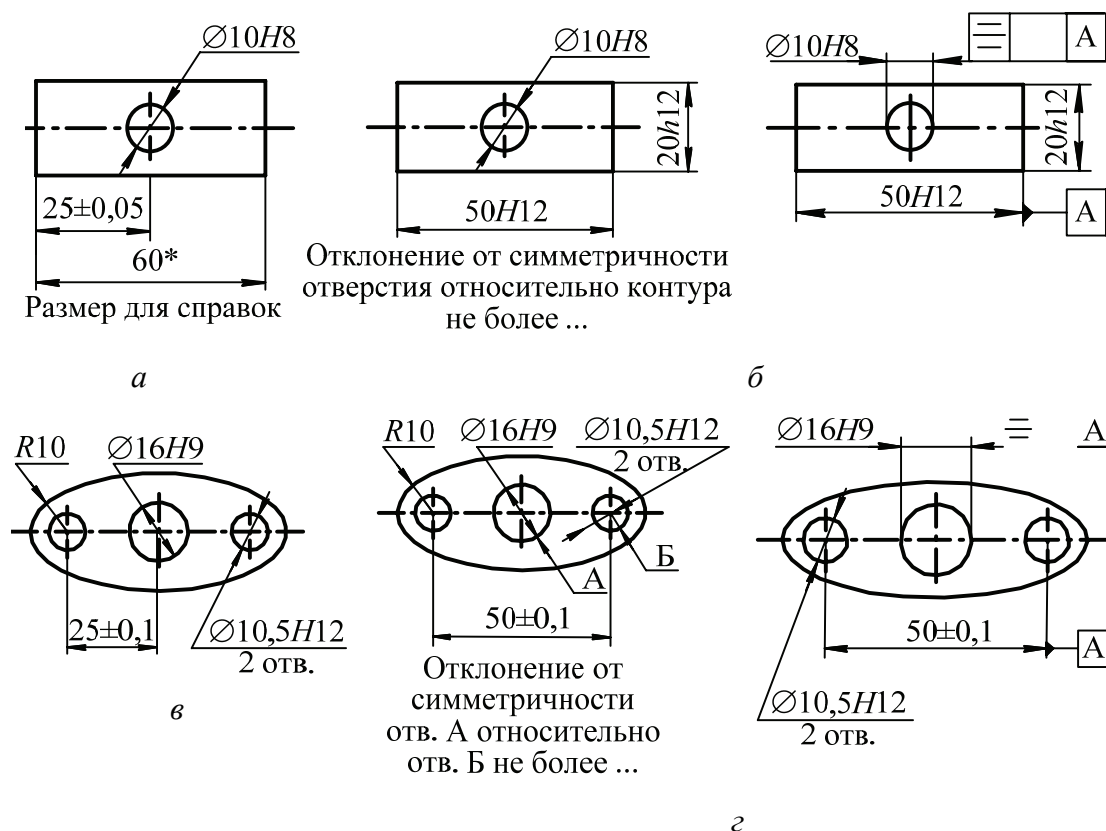


Рис. 1.8. Примеры нанесения размеров, определяющих положение симметрично расположенных поверхностей у симметричных изделий:

а, в – для единичного производства;

б, г – для серийного и массового производства

При выполнении рабочих чертежей деталей, изготавливаемых штамповкой, ковкой или прокаткой с последующей механической обработкой части поверхностей детали, указывают не более одного размера по каждому координатному направлению, связывающего механически обрабатываемые поверхности с поверхностями, не подвергаемыми механической обработке (рис. 1.9).

Размеры на чертежах указывают размерными числами и размерными линиями. Размерную линию с обоих концов ограничивают стрелками, упирающимися в соответствующие линии, а при нанесении линии радиуса стрелку проставляют только со стороны определяемой дуги или скругления. Размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения.

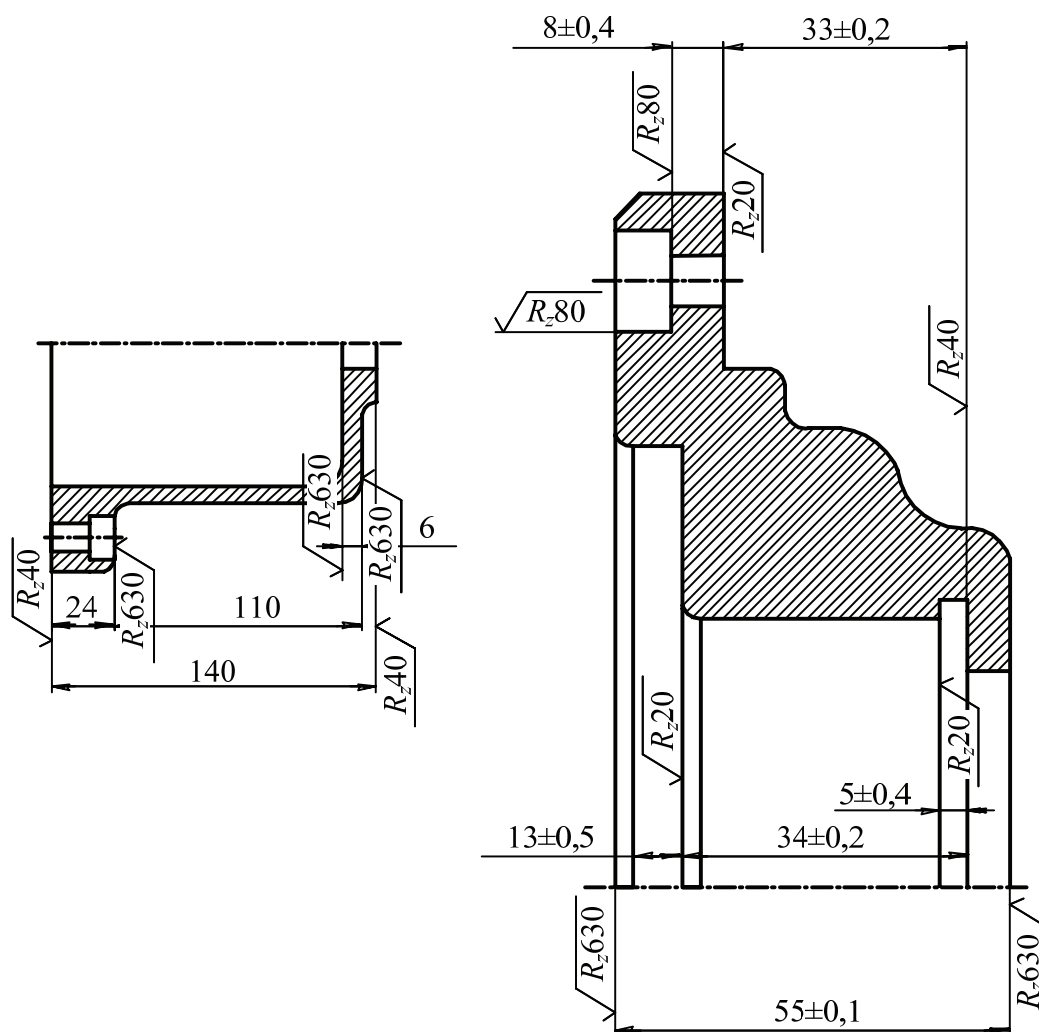


Рис. 1.9. Указание размеров, связывающих обработанную и необработанную поверхности

Выносные линии должны выходить за концы стрелок размерной линии на 1–5 мм. Расстояние от размерной линии до параллельной ей линии контура, осевой, выносной и других линий, а также расстояние между параллельными размерными линиями должно быть в пределах 6–10 мм.

На сборочных чертежах и чертежах общих видов размерные линии располагают в зависимости от величины изображения на расстоянии не менее 10 мм от линии наружного контура.

Необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий. Для этого надо более короткие линии, выносимые за пределы контура, помещать ближе к контуру, а более длинные – дальше от него.

Не допускается использовать линии контура, осевые, центровые и выносные в качестве размерных. Выносные линии проводят от линий видимого контура, за исключением случаев, когда при нанесении размеров на невидимом контуре отпадает необходимость в вычерчивании дополнительного изображения.

Линейные размеры (длину, высоту, ширину, радиус, диаметр дуги окружности) и предельные отклонения линейных размеров на чертежах указывают в миллиметрах без обозначения единицы измерения. Для размеров и предельных отклонений, приводимых в технических требованиях, примечаниях и пояснительных надписях на поле чертежа, обязательно указывают единицы измерения.

Для размерных чисел применять простые дроби не допускается.

Нанесение предельных отклонений размеров и посадок на чертежах. Предельные отклонения размеров указывают непосредственно после номинальных размеров. Многократно повторяющиеся на чертежах предельные отклонения относительно низкой точности допускается не указывать после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях при условии, что эта запись однозначно определяет числовые значения и знаки предельных отклонений. Аналогичные записи могут применяться для указания предельных отклонений отливок, поковок и т. п. со ссылкой на стандарт, определяющий эти предельные отклонения и класс точности по нему, например: «Неуказанные предельные отклонения размеров по ГОСТ 26645–85, кл. точн. 3».

Предельные отклонения размеров указывают на чертежах с помощью условных обозначений полей допусков, числовыми значениями предельных отклонений или комбинированным способом (табл. 1.3, 1.4).

Таблица 1.3

**Нанесение предельных отклонений размеров на чертежах
по ГОСТ 2.307–68 и ЕСПД**

Пояснение	Указание на чертеже
Предельные отклонения линейных размеров (<i>a</i> – валов; <i>b</i> – отверстий; <i>c</i> – сопрягаемых элементов) могут быть указаны одним из трех способов: 1) условными обозначениями полей допусков	

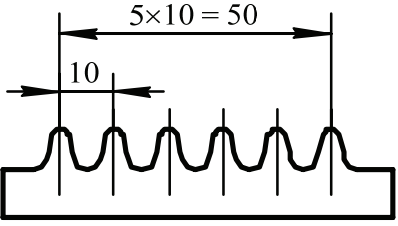
Продолжение табл. 1.3

Пояснение	Указание на чертеже				
2) числовыми значениями предельных отклонений					
3) условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (комбинированный способ)					
При записи предельных отклонений числовыми значениями верхние отклонения помещают над нижними. Высота цифр числовых значений предельных отклонений приблизительно равна $h/2$ (половине высоты шрифта номинального размера)					
Предельные отклонения, равные нулю, не указывают					
При симметричном расположении поля допуска абсолютную величину отклонений указывают один раз со знаком «±»; при этом высота цифр, определяющих отклонения, должна быть равна высоте шрифта номинального размера					
Предельные отклонения, указываемые числовыми величинами, выраженными десятичной дробью, записывают до последней значащей цифры включительно, выравнивая число знаков в верхнем и нижнем отклонениях добавлением нулей					
Размер шрифта буквенных обозначений такой же, как при простановке размеров					
Числовые значения предельных отклонений допускается указывать в таблице, помещаемой на свободном поле чертежа	<table border="1"> <tr> <td>$\varnothing 18H7$</td><td>+0,018</td></tr> <tr> <td>12e8</td><td>-0,032 -0,059</td></tr> </table>	$\varnothing 18H7$	+0,018	12e8	-0,032 -0,059
$\varnothing 18H7$	+0,018				
12e8	-0,032 -0,059				

Продолжение табл. 1.3

Пояснение	Указание на чертеже
<p>При указании предельных отклонений условными обозначениями обязательно и указание их числовых значений (комбинированный способ) в следующих случаях:</p> <p>1) при назначении предельных отклонений размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636–69;</p> <p>2) при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены ГОСТ 25347–82, в частности для пластмассовых деталей с предельными отклонениями по ГОСТ 25349–88;</p> <p>3) для размеров уступов с несимметричным полем допуска</p>	
<p>На поверхности с одним номинальным размером, имеющей участки с разными предельными отклонениями, границу между участками проводят сплошной тонкой линией, а номинальный размер с соответствующими предельными отклонениями наносят для каждого участка отдельно</p>	
<p>Когда необходимо указать только один предельный размер (второй ограничен в сторону увеличения или уменьшения каким-либо условием), после размерного числа указывают соответственно max или min</p>	
<p>Ограничение колебания размера одинаковых элементов одной детали в пределах части поля допуска (данные указываются в технических требованиях)</p>	 <p>* Разность размеров 0,1 мм</p>

Окончание табл. 1.3

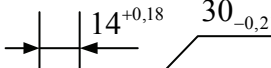
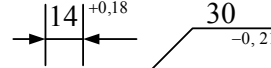
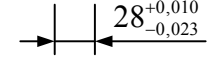
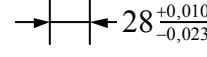
Пояснение	Указание на чертеже
Ограничение величины накопленной погрешности расстояния между повторяющимися элементами (данные указываются в технических требованиях)	 <p>Предельные отклонения расстояния между любыми несмежными зубьями $\pm 0,1$ мм</p>

Наиболее эффективным является третий способ. Указание условных обозначений полей допусков облегчает выбор размерного инструмента и предельных калибров, в маркировке которых указано поле допуска изделия. Одновременное указание числовых значений предельных отклонений позволяет непосредственно по данным чертежа производить наладку станка на размер, следить за текущим размером детали в процессе обработки и контролировать деталь с помощью универсальных измерительных средств.

На одном чертеже могут применяться разные способы указания предельных отклонений.

Таблица 1.4

Примеры правильного и неправильного нанесения предельных отклонений размеров на чертежах

Признак оформления	Правильно	Неправильно
Число знаков	$40_{-0,22}^{-0,10}$	$40_{-0,220}^{-0,100} ; 40_{-0,22}^{-0,1}$
Удаление отклонений от номинального размера Отделение линиями номинального размера и отклонения	$10_{+0,028}^{+0,050}$ 	$10_{+0,028}^{+0,050}$ 
Разделение отклонений линиями		
Нанесение предельных отклонений	$5_{-0,020}^{+0,002}$	$5_{-0,020}^{-0,002}$
Нанесение условных обозначений полей допусков: на размерах отверстий размерах валов сборочных чертежах	$60H6$ $60h6$ $25 \frac{H7}{k6}$	$60h6; 60H_6$ $60H6; 60h_6$ $25 \frac{k6}{H7}$

1.3. Шероховатость поверхности

1.3.1. Основные термины и определения

Термины и определения основных понятий по шероховатости поверхности установлены ГОСТ 25142–82 (СТ СЭВ 1156–78).

Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины.

Базовая длина l – длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (рис. 1.10).

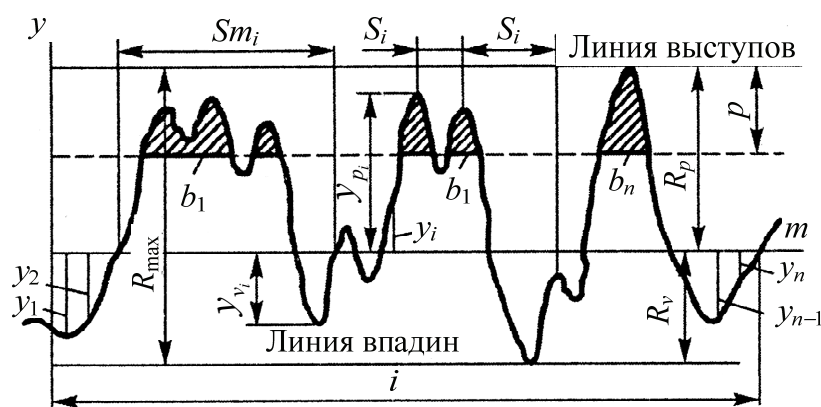


Рис. 1.10. Профилограмма и основные параметры шероховатости поверхности

Базовая линия (поверхность) – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

Если для определения шероховатости выбран участок поверхности длиной l , другие неровности (например, волнистость), имеющие шаг больше l , не учитывают.

Длина оценки L – длина, на которой оцениваются значения параметров шероховатости. Она может содержать одну или несколько базовых длин l_1, l_2, l_3, \dots (рис. 1.11).

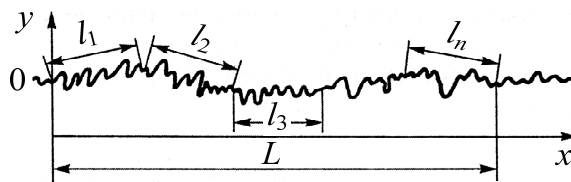


Рис. 1.11. Базовые длины и длина оценки

Числовые значения шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята *средняя линия профиля* m , т. е. базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

Систему отсчета шероховатости от средней линии профиля называют *системой средней линии* (системой M).

Линия выступов профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

Уровень сечения профиля p – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов (или средней линии) профиля.

1.3.2. Нормируемые параметры шероховатости

Параметры шероховатости, связанные с высотными свойствами неровностей

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra – среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{или приближенно} \quad Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l – базовая длина; n – число выбранных точек профиля на базовой длине; y – расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля R_p и глубин пяти наибольших впадин профиля R_v в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right],$$

где y_{p_i} – высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{v_i} – глубина i -й наибольшей впадины профиля (см. рис. 1.10).

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Параметры шероховатости в направлении длины профиля
Опорная длина профиля η_p – сумма длин отрезков b_i отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантной средней линии m в пределах базовой длины (см. рис. 1.10):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}.$$

Опорную длину профиля η_p определяют на уровне сечения профиля p . Значение уровня сечения профиля p отсчитывают по линии выступов и выбирают из ряда: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90% от R_{\max} . Относительная опорная длина профиля t_p может быть равна 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%.

1.3.3. Выбор параметров шероховатости и их числовых значений

Требования к шероховатости поверхности устанавливают исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Параметры шероховатости поверхности назначают в зависимости от точности, характера соединения, размеров деталей.

Шероховатость поверхностей в сочетании с точностью их геометрической формы оказывает большое влияние на качество и эксплуатационные свойства неподвижных и подвижных соединений деталей.

В табл. 1.5 приведены некоторые важнейшие эксплуатационные свойства поверхности, зависящие от ее шероховатости, и номенклатура параметров, при помощи которых обеспечиваются показатели этих свойств.

При неподвижных посадках шероховатость поверхностей приводит к уменьшению действительного натяга и ослаблению соединения при ударах и вибрации. В подвижных соединениях шероховатость поверхностей приводит к усиленному износу деталей и увеличению зазоров в начальный период эксплуатации изделия.

Таблица 1.5

**Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая
их номенклатура параметров шероховатости**

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры шероховатости поверхности и характеристики, определяющие эксплуатационное свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	Ra , (Rz) , t_p , направление неровностей
Виброустойчивость	Ra (Rz), Sm , S , направление неровностей
Контактная жесткость	Ra (Rz), t_p
Прочность соединения	Ra (Rz)
Прочность конструкций при циклических нагрузках	R_{max} , Sm , S , направление неровностей
Герметичность соединений	Ra (Rz), R_{max} , t_p
Сопrotивление в волноводах	Ra , Sm , S

Применение слишком высоких требований к шероховатости поверхности может оказаться не только нерентабельным, но и недопустимым. Например, при слишком гладких сопрягаемых поверхностях может возникнуть явление «схватывания», при котором частицы металла отрываются от поверхностного слоя трущихся поверхностей. Для таких поверхностей следует нормировать оптимальную исходную шероховатость, которая должна быть близкой к получающейся в процессе приработки.

Следует отметить, что допуски натягов и зазоров увеличиваются с увеличением диаметра детали, а высота неровностей не связана с размерами обрабатываемых деталей. Следовательно, при увеличении диаметра детали влияние неровностей будет относительно уменьшаться. Поэтому при прочих равных условиях шероховатость поверхности может быть выше.

Параметры Ra и Rz характеризуют усредненную высоту неровностей, дублируя друг друга. Оба эти параметра, как и остальные, являются в определенной мере условными, и ни один из них не имеет преимуществ по сравнению с другими по выявлению эксплуата-

ционных свойств. В ГОСТ 2789–73 (СТ СЭВ 638–77) указано, что параметр Ra является предпочтительным. Но предпочтение его не в том, что он более правильно характеризует влияние поверхностных неровностей. Преимущество параметра Ra по сравнению с другими высотными параметрами только в том, что он обеспечен надежными средствами измерений и поэтому чаще используется.

Параметр Ra позволяет достоверно сравнивать значения поверхностных неровностей после обработки одними методами. Но очень трудно получить достоверную информацию, если сравнивают по этому параметру поверхности, обработанные разными способами. Так, одинаковое значение неровностей по параметру Ra у поверхностей, обработанных протягиванием и растачиванием, еще не означает, что эти поверхности обладают одинаковыми свойствами.

Параметр Rz целесообразно применять при нормировании небольших неровностей и на малых по размерам поверхностях, где практически невозможно применить ощупывающие приборы, а также при нормировании требований к большим поверхностным неровностям.

Параметр R_{\max} применяют либо когда шероховатость имеет большие поверхностные неровности с регулярным профилем, либо в качестве дополнения к параметрам Ra и Rz , когда требуется оградить поверхность от отдельных больших выступов и впадин. Если не вводить дополнительных указаний об этих выпадающих неровностях, то усредненные параметры Ra и Rz их «усреднят» и они не будут выявлены при измерении.

Шаговые параметры, также дублируя друг друга, на практике применяются редко, например, при особых эксплуатационных требованиях к поверхности или в случаях, если разработчик хочет, чтобы поверхность имела определенный вид обработки.

Параметр t_p крайне редко используется на практике. Опорная длина профиля t_p определяет значение пластической деформации поверхностей деталей при их контактировании. Например, с помощью параметра t_p можно выявить эксплуатационные свойства двух поверхностей (рис. 1.12), у которых все остальные пять параметров будут одинаковыми. Только параметр t_p позволяет установить, что поверхность, изображенная на рис. 1.12, а, будет быстрее изнашиваться, так как у нее



Рис. 1.12. Поверхностные неровности, достоверно оцениваемые через параметр t_p

неровности по параметру t_p будут меньше, чем у поверхности, показанной на рис. 1.12, б.

Для неответственных поверхностей шероховатость определяется требованиями технической эстетики, коррозионной стойкости и технологией изготовления.

Требование к шероховатости поверхности устанавливают путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких), его числового значения (наибольшего, наименьшего, номинального и диапазона значений), а также базовой длины, на которой необходимо определить параметры шероховатости.

Числовые значения высотных и шаговых параметров, установленные ГОСТ 2789–73, приведены в табл. 1.6–1.8. В ГОСТ 2789–73 не предусмотрена обязательная привязка базовых длин к определенным числовым значениям параметров шероховатости, но указаны соотношения между значениями параметров Ra , Rz , R_{\max} и базовой длины (табл. 1.9). Выбор базовой длины не следует связывать с размерами нормируемой поверхности. Если эти размеры меньше базовой длины, то параметры шероховатости определяют на всей длине поверхности.

Таблица 1.6

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra по ГОСТ 2789–73, мм

100	10,0	1,00	0,100	25	2,5	0,25	0,025
80	8,0	0,80	0,080	20	2,0	0,20	0,020
63	6,3	0,63	0,063	16,0	1,60	0,160	0,016
50	5,0	0,50	0,050	12,5	1,25	0,125	0,012
40	4,0	0,40	0,040	—	—	—	0,010
32	3,2	0,32	0,032	—	—	—	0,008

Примечание. □ – предпочтительные значения.

Таблица 1.7

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz и наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} по ГОСТ 2789–73, мкм

—	1000	100	10,0	1,00	0,100	—	320	32	3,2	0,32	0,032
—	800	80	8,0	0,80	0,080	—	250	25	2,5	0,25	0,025
—	630	63	6,3	0,63	0,063	—	200	20	2,0	0,20	—
—	500	50	5,0	0,50	0,050	1600	160	16,0	1,60	0,160	—
—	400	40	4,0	0,40	0,040	1250	125	12,5	1,25	0,125	—

Примечание. □ – предпочтительные значения.

Таблица 1.8

**Средний шаг неровностей S_m и средний шаг местных выступов S
по ГОСТ 2789–73, мм**

–	10,0	1,00	0,100	0,010	–	3,2	0,32	0,032	0,003
–	8,0	0,80	0,080	0,008	–	2,5	0,25	0,025	0,002
–	6,3	0,63	0,063	0,006	–	2,0	0,20	0,020	–
–	5,0	0,50	0,050	0,005	–	1,6	0,160	0,0160	–
–	4,0	0,40	0,040	0,004	12,5	1,25	0,125	0,0125	–

Таблица 1.9

**Соотношение значений высотных параметров R_a , R_z , R_{\max}
и базовой длины l по ГОСТ 2789–73**

R_a , мкм	$R_z = R_{\max}$, мкм	l , мм
До 0,025	До 0,10	0,08
0,025–0,4	0,10–1,6	0,25
0,4–3,2	1,6–12,5	0,8
3,2–12,5	12,5–50	2,5
12,5–100	50–400	8,0

При нормировании параметров R_a и R_z следует применять в первую очередь предпочтительные значения, указанные в табл. 1.6 и 1.7. Они получили наибольшее применение в международной практике. Им соответствуют номинальные значения шероховатости образцов сравнения по ГОСТ 9378–93 (ISO 2632-1:1985, ISO 2632-2:1985).

Выбор числовых значений параметров шероховатости должен производиться в соответствии с условиями работы изделия и требованиями эксплуатации нормируемой поверхности.

Определенная степень шероховатости поверхности необходима для деталей в соединениях с натягом, собираемых нагреванием отверстия или охлаждением вала. В таких случаях следует задавать наибольшее и наименьшее значения параметров шероховатости.

При назначении параметров шероховатости поверхностей следует проверить возможность их достижения в связи с рациональными методами обработки детали. Обычно отделить отверстие труднее, чем вал. Это часто учитывается назначением различной шероховатости поверхностей сопрягаемых деталей: у отверстий шероховатость несколько выше.

Для обеспечения взаимозаменяемости назначение шероховатости сопряженных поверхностей может производиться в зависимости

от точности сопряжения (выбранной посадки) и точности обработки (выбранного качества). Прямой связи между точностью и шероховатостью поверхности нет, так как к самым неточным поверхностям по допуску размера можно предъявить весьма высокие требования шероховатости, например поверхности ручек хирургического инструмента. Однако шероховатость поверхности в процессе сборки и эксплуатации изделия может привести к дополнительным отклонениям размера и формы в результате сжатия и сглаживания микронеровностей при запрессовке и под действием нагрузок или в результате износа в процессе приработки подвижных соединений. Поэтому для каждого допуска размера и формы можно установить минимальные требования к шероховатости поверхности в виде наиболее грубого предела допускаемых значений высотных параметров шероховатости.

Вместе с тем при выборе шероховатости поверхности следует учитывать, что значение Rz должно составлять лишь некоторую часть допуска соответствующего размера.

В дополнение к количественным параметрам в некоторых случаях целесообразно нормировать направление неровностей, например в связи с направлением относительного перемещения трущихся сопряженных поверхностей или для обеспечения необходимой виброустойчивости и прочности при циклических нагрузках. Направление неровностей выбирается из табл. 1.10.

Таблица 1.10

Направление неровностей поверхности

Направление неровностей по ГОСТ 2789–73	Схематическое изображение неровностей	Пояснение обозначения на поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования	Условное обозначение по ГОСТ 2.309–73
Параллельное		Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перпендикулярное		Перпендикулярно к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перекрещивающееся		Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Произвольное		Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность	

Окончание табл. 1.10

Направление неровностей по ГОСТ 2789–73	Схематическое изображение неровностей	Пояснение обозначения на поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования	Условное обозначение по ГОСТ 2.309–73
Кругообразное		Приблизительно кругообразно по отношению к центру по- верхности	
Радиальное		Приблизительно радиально по отношению к центру по- верхности	
Точечное		Точечное (например, после электроэрозионной обработки)	

При необходимости устанавливается также способ или последовательность обработки поверхности, если они являются единственными для обеспечения ее заданного качества.

Классификация шероховатости поверхностей с высотой неровностей средней величины, значения параметров Ra и Rz (ГОСТ 2789–73), примерные технические способы получения поверхностей заданной чистоты приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Выбор значений параметров Ra и Rz

Класс шерохо- ватости	Высота неровно- стей, не более, мкм	Значения параметров, мкм		Примерные способы получения поверхностей заданной чистоты
		Ra	Rz	
1	2	3	4	5
1	320	50	320	Обдирочное точение, строгание, фрезерование
2	160	25	160	Обработка крупнонасенным напильником, абразивным обдирочным кругом
3	80	12,5	80	Сверление. Прокат, ковка, горячая штамповка, литье в землю
4	40	6,3	40	Чистовое точение, строгание, растачивание, фрезерование, зенкерование. Опиливание личным напильником, шабрение, сверление
5	20	3,2	20	
6	10	1,6	10	Прокат, литье в кокиль и по восковым моделям, штамповка

Окончание табл. 1.11

1	2	3	4	5
7	6,3	0,8	6,3	Тонкое точение и растачивание. Чистовое и отделочное развертывание. Шлифование. Чистовое и отделочное протягивание. Опиливание бархатным напильником, шабрение, полирование. Холодное выдавливание, особо точное литье цветных металлов и пластмасс
8	3,2	0,4	3,2	
9	1,6	0,2	1,3	
10	0,8	0,1	0,8	Тонкое шлифование. Чистовое и отделочное полирование. Ручные и машинные доводочные процессы (чистовой и тонкий суперфиниш, хонингование). Притирка чистовая
11	0,4	0,05	0,4	
12	0,2	0,025	0,2	
13	0,1	0,012	0,1	
14	0,05	0,006	0,05	

1.3.4. Обозначение шероховатости на чертеже

Обозначение шероховатости поверхностей и правила их нанесения на чертежах изделий независимо от метода образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции, установлены ГОСТ 2.309–73 (ISO 1302-74).

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 1.13. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

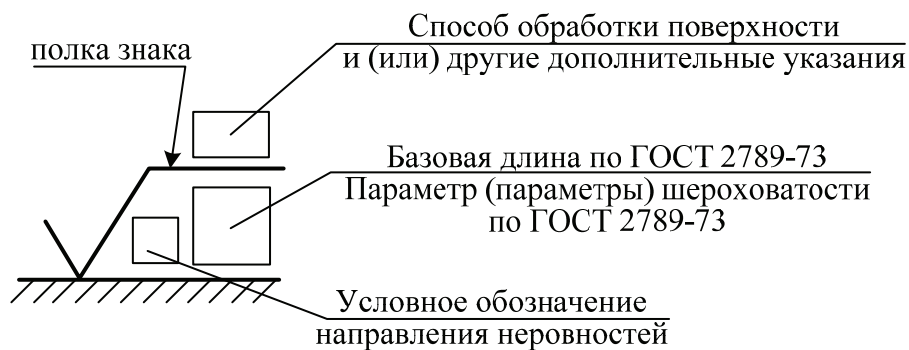


Рис. 1.13. Структура обозначения шероховатости поверхности на чертежах

Для обозначения шероховатости поверхностей деталей из металлов, пластмасс и других материалов применяют один из знаков, изображенных на рис. 1.14. Вершина угла направлена к поверхности,

шероховатость которой нормируется. Высота h должна быть приблизительно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел. Высота H равна $(1,5-5,0)h$. Толщина линий знаков должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии, применяемой на чертеже.

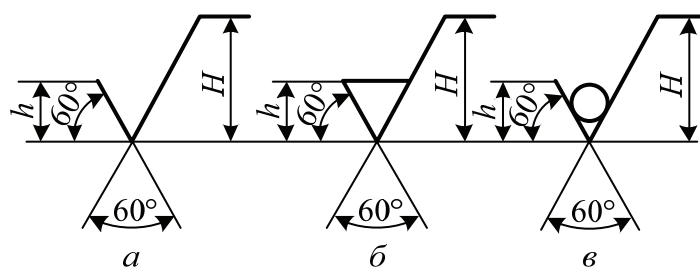


Рис. 1.14. Знаки для обозначения шероховатости на чертежах

Наиболее распространенным является знак (рис. 1.14, а), который показывает, что поверхность должна иметь определенную шероховатость, безразлично каким способом будет проведена обработка этой поверхности.

Знак (рис. 1.14, б) означает, что поверхность, на которую он указывает, должна быть обработана со снятием материала (точение, строгание, фрезерование, сверление, шлифование, хонингование).

Знак (рис. 1.14, в) имеет два значения. При одном значении он указывает, что поверхности детали, изготовляемой из материала определенного профиля и размера, не подлежат по данному чертежу дополнительной обработке. В этом случае они должны быть отмечены знаком ∇ без указания параметра шероховатости. Это могут быть не только грубые поверхности, но и шлифованные, полированные, имеющие специальные покрытия и т. п.

При другом значении данного знака состояние поверхности, на которую указывает знак своей вершиной, должна обрабатываться без удаления слоя материала (литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением, прессованием). В этом случае состояние поверхности, обозначенной знаком ∇ , должно соответствовать требованиям, установленным (или соответствующим) стандартом, или техническими условиями, или другим документом, причем на этот документ должна быть приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа по ГОСТ 2.104–68.

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789–73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например: $Ra\ 0,4$; $R_{\max}\ 6,3$; $Sm\ 0,63$; $t_{50}\ 70$; $S\ 0,032$; $Rz\ 50$.

Применительно к деталям машин и приборов наиболее распространенным способом нормирования требований к шероховатости поверхности является указание предельных значений параметров шероховатости.

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например: $\sqrt{Ra\ 0,4}$; $\sqrt{Rz\ 50}$.

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min», например: $\sqrt{Ra\ 3,2\ min}$; $\sqrt{Rz\ 50\ min}$.

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

$$Ra_{0,4}^{0,8}, Rz_{0,05}^{0,10}, R_{\max 0,32}^{0,80}, t_{50}^{70} \text{ и т. п.}$$

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТ 2789–73, например: $Ra\ 1 + 20\%$; $Rz\ 100_{-10\%}$; $Sm\ 0,63^{+20\%}$, $t_{50}\ 70 \pm 40\%$ и т. п.

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в следующем порядке (рис. 1.15):

- параметр высоты неровностей профиля;
- параметр шага неровностей профиля;
- относительная опорная длина профиля.

$$\sqrt{\begin{array}{l} Ra\ 0,1 \\ 0,8/Sm\ 0,063 \\ 0,040 \\ 0,25/t_{50}\ 80 + 10\% \end{array}}$$

Рис. 1.15. Пример указания нескольких параметров шероховатости поверхности

При нормировании требований к шероховатости поверхности параметрами Ra , Rz , R_{\max} базовую длину в обозначении шероховатости не приводят, если она соответствует указанной в приложении 1 ГОСТ 2789–73 (см. табл. 1.9) для выбранного значения параметра шероховатости. Базовая длина должна указываться в тех случаях, если для устанавливаемого значения параметра Ra , Rz или R_{\max} в табл. 1.9 не за-

дана базовая длина или если требуется нормировать значение параметра шероховатости на базовой длине, отличающейся от заданной в табл. 1.9. Числовые значения базовой длины l (мм) выбираются из ряда (0,01); (0,03); 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; (25). Значения, указанные в скобках, применяются в особых случаях.

В тех случаях, когда направление неровностей влияет на функциональные свойства поверхности, оно указывается с помощью условного обозначения по табл. 1.10 (рис. 1.16). Высота знака условного обозначения направления неровностей должна быть приблизительно равна h . Толщина линий знака должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии.

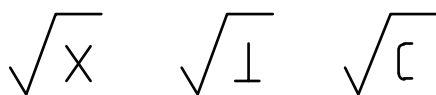


Рис. 1.16. Пример указания направления неровностей



Рис. 1.17. Пример указания вида обработки

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным, применимым для получения требуемого качества поверхности (рис. 1.17).

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях по примеру, указанному на рис. 1.18. В упрощенном обозначении используют знак $\sqrt{}$ и строчные буквы русского алфавита в алфавитном порядке, без повторений и, как правило, без пропусков.

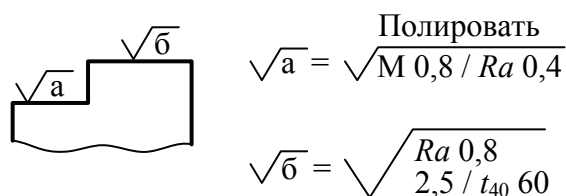


Рис. 1.18. Пример упрощенного обозначения шероховатости поверхности

Если направление измерения шероховатости должно отличаться от предусмотренного ГОСТ 2789–73, его указывают на чертеже по примеру, приведенному на рис. 1.19.

Обозначение шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности

ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию (рис. 1.20).

На линии невидимого контура допускается наносить обозначение шероховатости только в случаях, когда от этой линии нанесен размер.

Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак не имеет полки, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рис. 1.21, а знак с полкой располагают аналогично показанному на рис. 1.22, а, б.

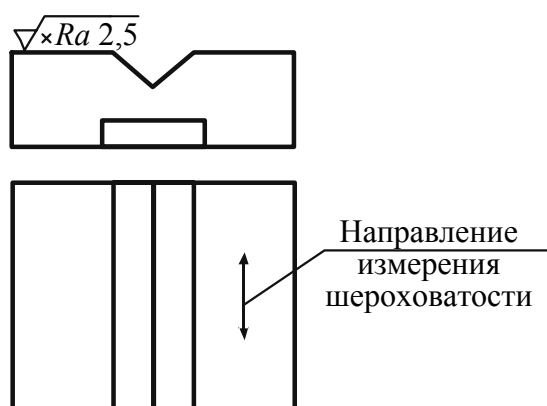


Рис. 1.19. Пример указания направления измерения шероховатости

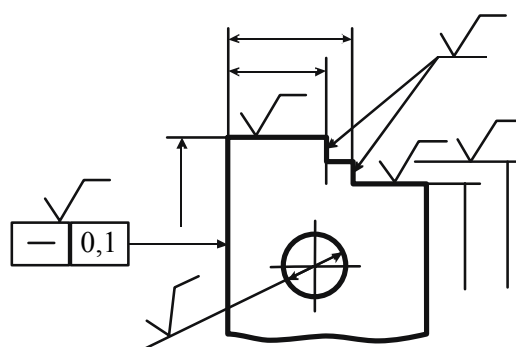


Рис. 1.20. Пример обозначения шероховатости поверхностей на размерных или выносных линиях

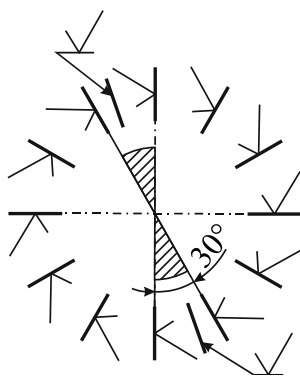
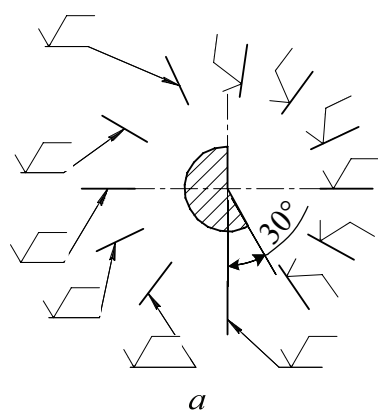


Рис. 1.21. Пример обозначения шероховатости поверхностей, в которых знак не имеет полки



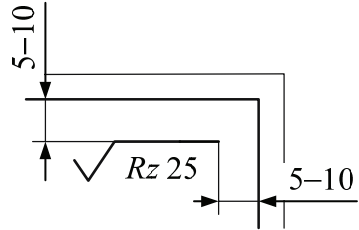
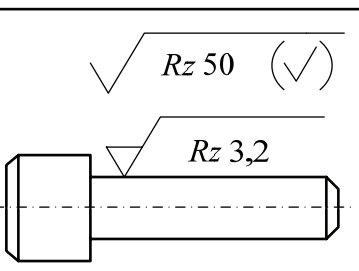
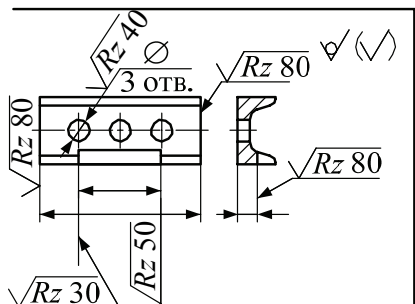
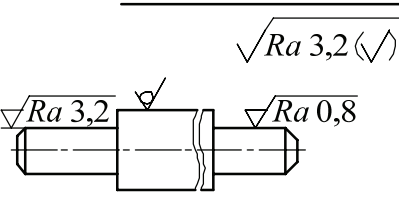
б

Рис. 1.22. Пример обозначения шероховатости поверхностей, в которых знак имеет полку

Примеры нанесения на чертежах обозначений шероховатости поверхностей приведены в табл. 1.12. Обозначение шероховатости поверхности по ГОСТ 2.309–73 полностью соответствует стандарту ISO 1302-74.

Таблица 1.12

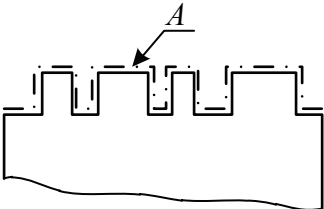
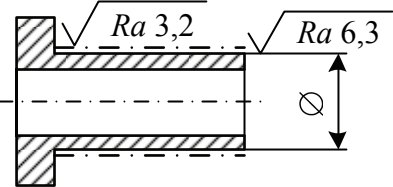
**Нанесение на чертежах обозначений шероховатости поверхностей
по ГОСТ 2.309–73**

Требование к шероховатости поверхности деталей	Примеры нанесения обозначений
Обозначение шероховатости, одинаковой для всех поверхностей изделия, помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят. Размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, вынесенных на изображении	
Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа вместе с условным обозначением (✓). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости, должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением (✓)	
Если часть поверхностей не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа перед обозначением (✓) помещают знак √	
Не допускается обозначение шероховатости или знак ✓ выносить в правый верхний угол чертежа при наличии в изделии поверхностей, шероховатость которых не нормируется. В основной надписи чертежа должна быть дана ссылка (в виде указания сортамента материала) на стандарт или технические условия, где установлены требования к шероховатости этих поверхностей	

Продолжение табл. 1.12

Требование к шероховатости поверхности деталей	Примеры нанесения обозначений
При изображении детали с разрывом обозначение должно быть нанесено только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размера	
Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости	
Через заштрихованную часть изображения линию границы между участками не проводят	
Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия (отверстий, валов, пазов и т. п.), количество которых в изделии указано в чертеже, а также обозначение шероховатости одной и той же поверхности следует наносить один раз, независимо от числа изображений. Обозначения шероховатости симметрично расположенных элементов симметричных изделий наносят один раз	
Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз. Диаметр вспомогательного знака 4–5 мм	
В обозначении одинаковой шероховатости двух или более поверхностей, плавно переходящих одна в другую, знак не приводят	

Окончание табл. 1.12

Требование к шероховатости поверхности деталей	Примеры нанесения обозначений
<p>Обозначение шероховатости, одинаковой на всех участках поверхностей сложного профиля, допускается приводить в технических требованиях чертежа со ссылкой на буквенное обозначение поверхности, например: «Шероховатость поверхности $A - \sqrt{Ra\ 3,2}$».</p> <p>При этом буквенное обозначение поверхности наносят на полке линии-выноски, проведенной от штрихпунктирной утолщенной линии, которой обводят поверхность на расстоянии 0,8–1,0 мм от линии контура</p>	
<p>В технически обоснованных случаях допускается указывать одновременно шероховатость поверхности до нанесения покрытия и после него. При этом обозначение шероховатости поверхности до нанесения покрытия наносят по общим правилам, а обозначение шероховатости после нанесения покрытия на утолщенной штрихпунктирной линии.</p> <p>В некоторых случаях указывают шероховатость только после нанесения покрытия со ссылкой в технических требованиях чертежа, например: «Шероховатость поверхностей после покрытия»</p>	

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

[3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]

2.1. Процесс конструирования

Значительных усилий требует успешное конструирование пластмассовых изделий. Часть из них являются общими, характерными для любого нового изделия или конструкции. Концепция изделия всегда разрабатывается с намерением получить прибыль. Переход от фазы формулирования концепции к получению прибыли потребует решения многих задач и привлечения большого числа специалистов. Некоторые из них решаются последовательно, в то время как другие лучше выполнять одновременно. Порядок выполнения последовательных задач не всегда будет одним и тем же. Например, часто требования к изделиям определяют их конструкцию, в то время как некоторые конструкции определяют выбор материала. Поэтому процесс выбора материала может происходить до, после или одновременно с конструированием изделия. Иногда часть задач требует большего внимания по сравнению с другими. В любом случае необходимо начать с определения первоочередных факторов, от которых зависит успех проекта. Так, следует четко сформулировать его цель, составить план, а затем довести до всех участников требования и поставить перед ними задачи.

Процесс конструирования, кратко описанный ниже, представляет собой список задач в порядке очередности их выполнения. Последовательность может меняться от проекта к проекту. После сбора данных и разработки плана многие этапы лучше выполнять одновременно, что позволит минимизировать проблемы, связанные с эксплуатационными параметрами изделия и его производством.

1. Сбор данных и разработка технических характеристик изделия.
 - Маркетинговые исследования.
 - Разработка технических характеристик изделия на основе собранных данных.
 - Определение дат начала и окончания проекта.
 - Согласование с заказчиком.

2. Составление плана.

- Составление плана должно быть осуществлено на самых ранних стадиях проекта. Предварительный план можно составить до сбора данных и затем изменять и дорабатывать его на основе вновь поступающей информации. Вполне вероятно, что в ходе работы над проектом план будет модифицирован. Несмотря на это, даже предварительный план обозначит базовые принципы вашего конструирования и временные затраты.

- План может носить очень общий характер или быть достаточно сложным в зависимости от самого проекта. Минимально план должен содержать:

- а) график выполнения проектных задач;
- б) распределение ресурсов (персонал, оборудование, технологические ресурсы, денежные средства и т. п.);

Ответственным моментом является соответствие выполнения задач конструирования в заданные сроки:

- а) установить дату завершения проекта;
- б) определить ресурсы;
- в) поставить задачи;
- г) сопоставить ресурсы с задачами;
- д) разработать график для ресурсов и задач (необходимо избегать их наложения друг на друга);
- е) определить критический путь;
- ж) в первую очередь заказать детали, поставка которых требует длительного времени.

3. Предварительное конструирование.

- Разработка эскизов различных вариантов конструкции.
- При выполнении эскизного проекта необходим творческий подход – постарайтесь абстрагироваться от существующих аналогичных конструкций, чтобы они не влияли на оригинальность нового проекта. Если существует команда конструкторов, то желательно, чтобы каждый из них разработал концепцию индивидуально.

- После формулирования начальных концептуальных конструкций провести их анализ и сопоставление с существующими изделиями. Необходимо последовательно комбинировать все идеи до тех пор, пока не будет найдена оптимальная конструкция.

- Подвергнуть критике свою конструкцию и конструкции членов команды. Не следует слишком концентрироваться на конкретной

конструкции, поскольку это может помешать выработке новых более удачных идей.

- Рассмотреть ценность различных вариантов с точки зрения возможности их производства, стоимости и рисков.

- Решить вопрос о том, возможно ли объединение компонентов конструкции, можно ли повысить их ценность за счет свойств материала или процесса литья под давлением. Подумайте об альтернативных подходах к конструкции.

- Выделить потенциальные слабости конструкции и выработать пути их минимизации.

- Заранее составить список требований к изделию (структурные, экологические, декоративные и т. д.).

- Обновить эскизы и изготовить прототип. Для этой цели можно использовать картон, пеноматериалы, стереолитографию, программное обеспечение CAD и т. д.

- Не концентрируйтесь в безуспешных попытках найти решения в тех областях, где вам не хватает знаний. Гораздо более грамотный подход – попытаться найти консультанта.

- Никогда не следует выполнять слишком много конструкторской работы за один подход. Следует разбить ее на отдельные этапы. Это позволит избежать усталости, но сохранить непрерывность работы.

- Провести предварительный анализ там, где это уместно. Это должно упростить работу, которая состоит из выполнения вычислений вручную и анализа заполнения литейной формы.

4. Выбор марки материала.

- Выбор типа исходного материала должен быть осуществлен до разработки рабочего проекта. В некоторых случаях дальнейшее конструирование изделия может потребовать перехода на другой материал.

5. Разработать подробный рабочий проект.

Функциональный. Создать из конструкторской команды и представителей заинтересованных сторон небольшие рабочие группы и сосредоточить их на концепции, адресных функциях монолитной конструкции. Принять критические решения.

Использовать базовые принципы проектирования, выделив из них специфичные для выбранного типа полимера и технологических процессов.

Структурный. Провести соответствующий структурный анализ, выполнив расчеты или используя программное обеспечение.

Учесть соответствующие факторы, влияющие на технику безопасности.

Технологический. Рассмотреть параметры, влияющие на характер процесса, и вытекающие из них особенности конструкции. Это может иметь отношение к толщине стенок, требованиям к оборудованию и т. д.

- Разработать рабочие чертежи, пригодные для производства изделия или прототипирования.

- Простые решения всегда предпочтительнее.

6. Прототипирование.

- Перед запуском изделия в производство желательно изготовить и протестировать прототип конструкции или ее компонентов. Прототипы могут выполнять различные функции, включая оценку факторов, связанных с усадкой, формой, функцией и структурой. Для оценки структуры и усадки часто требуется, чтобы прототип был изготовлен из материала и способом, которые будут использоваться в серийном производстве изделия. Оценки, относящиеся к другим факторам, отличным от структурных и усадочных, могут касаться и альтернативных типов материалов. Такие исследования допускается проводить с помощью средств, отличных от используемых при производстве изделий. К технологиям, которые применяются наиболее часто, относятся:

- а) механическая обработка (дерево, пластмассы);

- б) стереолитография или другие способы быстрого прототипирования;

- в) отливка изделий из ПУ в силиконовые литевые формы, изготовленные по мастермодели;

- г) использование программного обеспечения CAD и CAE.

При получении изделий из пластмасс особый интерес представляют их окончательный размер, форма и механические свойства в зависимости от параметров литья. Это обычно относится к производству изделий, для разработки которых используется прототипирование. Следует быть осторожными, поскольку различия между оборудованием для прототипирования и литья приводят к несовпадениям прототипа и изделия. Необходимо четко представлять себе цели, для которых нужен прототип, и добиваться именно такого совершенствования конструкции формы и изделия, которое позволит их достичь. Изменение марки стали литевой формы, режима охлаждения, расположения литниковых каналов, количества формующих

полостей и другие факторы будут определять различия между прототипом и изделием.

Современные достижения, связанные с использованием программных продуктов САЕ, дают возможность оценить изделие без прототипирования.

7. Необходимо провести анализ конструкции и снова повторить пункты с 4-го по 6-й.

- Проверить все предположения.
- Провести тщательный анализ и критически оценить прототипы или результаты моделирования.
- Рассмотреть конструкцию свежим критическим взглядом.
- Следует избегать инерции в принятии конструкторских решений – не останавливайтесь на конструкции, если есть подозрение, что она дефектна.

8. Завершить процесс конструирования и составить план запуска изделия в производство.

- Необходимо избегать перерасхода ресурсов.
- Следует избегать чрезмерных усилий и принимать на себя обязательства, превышающие ваши реальные возможности.
- Установить критический путь, показатели завершенности и цели – как конечные, так и промежуточные.

2.2. Четыре основных элемента конструирования изделий из полимерных материалов

Успешная разработка изделий из пластмасс, перерабатываемых литьем под давлением и другими методами, в значительной степени зависит от комплексного взаимодействия между материалом, конструкцией изделия, конструкцией оснастки и параметрами технологического процесса. Каждый из этих четырех элементов влияет на конструкцию изделия и на ее поведение после изготовления. Кроме того, каждый из них по отдельности представляет собой важную и сложную проблему. Рассмотрение взаимосвязи факторов в процессе разработки изделий из полимерных материалов кажется неразрешимой задачей.

Из-за сложности разработки изделий лучше всего, когда этот процесс осуществляется совместно с экспертами в каждой из четырех

областей. Привлечение к работам инженера-производственника и конструктора по оснастке на ранних стадиях конструирования изделия может помочь избежать многих производственных проблем. Применение структурного анализа или компьютерных программ моделирования процесса также может оказать существенную помощь. Без хорошего понимания процесса конструктор может прийти к ложной уверенности в успехе проектирования. Следует признать, что подобные программы обеспечивают информацией, которая требует квалифицированной интерпретации.

2.2.1. Материал

В производстве изделий можно использовать огромное количество марок полимерных материалов. Это создает значительные трудности для конструктора, задача которого заключается в том, чтобы классифицировать материалы и определить их комбинацию, сочетающую в себе оптимальные эксплуатационные характеристики и технологичность при минимальной стоимости. Кроме рассмотрения требований к материалу на основе его будущего применения следует продумать, позволяет ли геометрия изделия осуществить из него изготовление. Реальная конструкция должна удовлетворять требованиям к его механическим свойствам. Помимо этого, необходимо обеспечить возможность извлечения из оснастки.

Технические характеристики полимерных материалов гораздо сложнее, чем у большинства других. Лишь немногие из этих свойств являются постоянными, и часто о них имеется только ограниченная информация. К непостоянным свойствам относятся, например, такие фундаментальные характеристики, как модуль упругости, предел текучести и вязкость. Они могут влиять на скорость деформации, температуру, влажность, а также на сам процесс.

Свойства полимерных материалов также изменяются со временем. Изделие под нагрузкой изначально может деформироваться очень незначительно. Со временем при такой же нагрузке деформация будет продолжаться. Обычно этот эффект называется «ползучестью».

Свойства изделий из полимерных материалов также существенно зависят от способа их получения. Такие факторы, как скорость охлаждения и направление потока расплава могут менять ориентацию

молекул полимера и любых добавок или армирующих наполнителей. Ориентация создает анизотропные свойства в изделии.

При существующем широком выборе полимерных материалов очень важно выработать некоторую методику выбора оптимального.

1. Проанализировать технические характеристики материалов, не зависящие от конструкции изделия: стойкость к химическому воздействию; окрашиваемость; прозрачность; термостойкость.

Предпочтительные свойства материала – это свойства, которые удовлетворяют требованиям практического применения. Как правило, это механические свойства: ударная прочность; предел прочности на разрыв; модуль упругости.

2. При выборе материала следует учитывать: механические свойства; возможность сохранять эксплуатационные характеристики в условиях окружающей среды; износ; способ получения изделия; специальные свойства / требования (оптические, смазывающая способность и т. п.); стоимость.

3. Составить перечень материалов, которые удовлетворяют вашим требованиям и имеют некоторые предпочтения. Затем расположить материалы с учетом их стоимости и доступности. Наконец, расположить их в соответствии с перерабатываемостью.

4. Если для вас выбор материала все еще неясен, то возьмите один из тех, с которыми уже приходилось работать.

2.2.2. Конструкция изделия

Конструктор должен так спроектировать изделие, чтобы оно удовлетворяло функциональным, структурным, эстетическим, стоимостным и технологическим требованиям. Эти параметры часто противоречат друг другу, следовательно, необходимо провести анализ, чтобы их сбалансировать. В качестве примера можно взять ребро, которое нужно добавить, чтобы получить требуемую структуру и стабильность, а также уменьшить коробление. Однако это ребро может стать причиной утяжины на внешней поверхности изделия вследствие высокой локализации внутренних напряжений, которые возникают на пересечении ребра с основной стенкой. Широко распространенные нормативы рекомендуют делать ребро тоньше основной стенки, чтобы уменьшить объем материала, который служит причиной локализации напряжений (рис. 2.1, а).

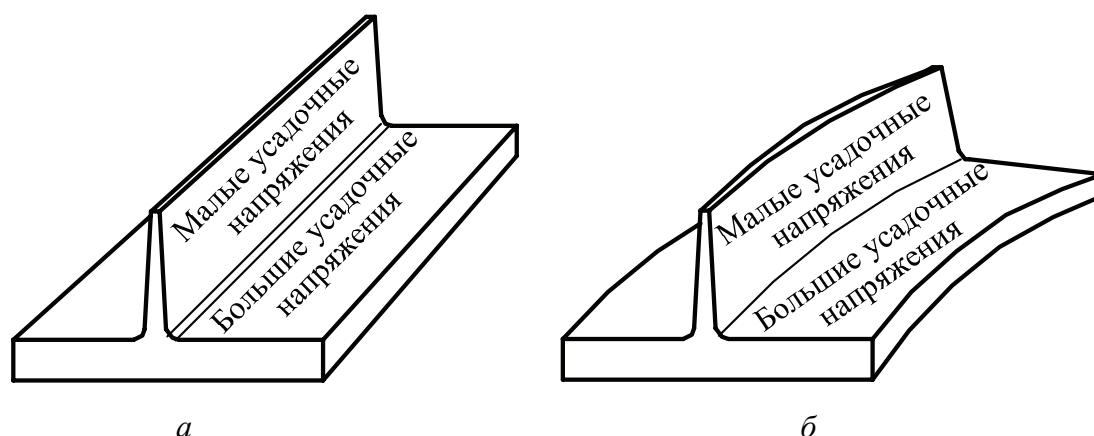


Рис. 2.1. Изменение формы в результате усадочных напряжений:
 а – тонкое ребро для снижения локальных усадочных напряжений;
 б – коробление, вызванное разностью усадочных напряжений в тонкой и толстой зонах изделия

Однако это тонкое ребро теперь представляет собой узкий канал, который может привести к проблемам на стадии заполнения литейной формы. Поэтому высота ребра должна быть ограничена, что, в свою очередь, требует использования нескольких невысоких тонких ребер вместо одного. Вне зависимости от подходов тонкие ребра будут иметь усадку, отличную от усадки основной толстой стенки. Подобная разница в усадке будет приводить к остаточным напряжениям, которые, в свою очередь, будут приводить к короблению изделия (рис. 2.1, б).

Одним из важных преимуществ изделий из пластмасс является то, что изделие может быть отлито в форме в готовом виде, тогда как для получения такого же изделия из другого материала часто требуется дополнительная обработка или сборка. Перед конструктором стоит сложная задача — обеспечить соответствие готового изделия многочисленным требованиям, причем таким образом, чтобы не слишком усложнить требования к оборудованию.

Хорошим примером здесь может служить бачок радиатора (рис. 2.2). Он имеет мощный фланец, толщина которого больше, чем толщина основной

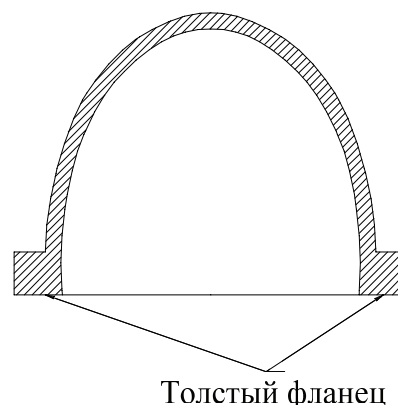


Рис. 2.2. Поперечное сечение общего соединения фланца и основной стенки, которое ответственно за коробление и качество литья

стенки. Такой фланец необходим для крепления и герметизации соединения бачка и радиатора. Кроме того, в состав изделия входит набор шланговых штуцеров для охлаждения, а также масса различных кронштейнов крепления, приспособлений и множество прочих деталей. Такие конструкции довольно распространены, однако их природа представляет значительные трудности для проектировщика литевой формы, чтобы свести коробление изделия до приемлемого уровня.

2.2.3. Проектирование литевой формы

Литевые формы для производства полимерных изделий должны быть спроектированы и изготовлены в соответствии со специальными требованиями. Конструкция форм требует привлечения высококвалифицированных станочников, способных использовать большой диапазон прецизионного оборудования. Литевая форма должна повторять геометрию изготавливаемого изделия и соответствовать требованиям, предъявляемым к его поверхности. Одной из основных трудностей при проектировании является конструкция литевой формы, которая должна гарантировать свободное извлечение изделия и сохранение всех особенностей полости, в которой оно было формовано.

Однако трудности конструирования литевой формы не заканчиваются на проблемах извлечения изделия. Элементы литевой формы должны быть технологичны, размеры формующей полости должны быть выполнены с учетом усадки материала, литевая форма должна обеспечивать адекватное и равномерное охлаждение, вентиляцию, поверхность изделия должна быть изготовлена с точностью от десятых до сотых долей миллиметра, включая сложные выступы; литевая форма также должна способствовать распространению расплава, автоматическому отделению литников и изделия. Кроме этого, литевая форма должна быть установлена прочно, чтобы выдерживать миллионы циклов внутренних нагрузок при впрыске расплава под давлением, достигающим 2000 кг/см^2 , и усилие смыкания литевой формы, которое может составлять 7000 т.

Формальный расчет конструкции при проектировании литевой формы используется редко; гораздо чаще конструктор опирается на свои квалификацию, опыт и интуицию. Заполнение формующей полости менее предсказуемо, а ее влияние на изделие носит абстрактный

характер. Это снова приводит к применению консервативных подходов в проектировании системы подачи расплава и размещению впускных литников. Как следствие – используются литники большего сечения, а расположение мест впуска неоптимально. Консервативный подход в отношении заполнения литейной формы часто противоречит требованиям производительности и качества изделий.

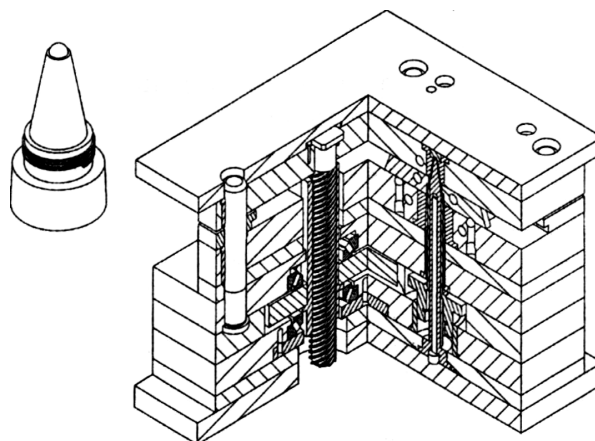


Рис. 2.3. Литейная форма с внутренним механизмом вывинчивания и механизмом смещения знаков (используется для изготовления крышек как с наружной, так и с внутренней резьбой)

Конструкция литейной формы, которая приведена на рис. 2.3, используется для изготовления крышек, которые имеют как наружную, так и внутреннюю резьбу. Из-за такого расположения резьбы в литейной форме предусмотрен внутренний механизм вывинчивания, механизмы смещения знаков и съема изделия. В этом случае простое на вид изделие весом 10 г требует литейной формы весом приблизительно 300 кг. Несмотря на впечатляющий вид этой конструкции и замечательное инженерное исполнение, ее производительность ограничивается изготовлением только двух изделий за один цикл; при этом происходят образование линий спая и захват воздушных пузырьков, что требует вентиляции и проведения регулярного технического обслуживания.

2.2.4. Технологический процесс

Размер, форма и механические свойства изделия, изготовленного литьем под давлением, в значительной степени зависят от технологического процесса литья. Сложный процесс усадки полимерных материалов, возможно, является наиболее важной проблемой, определяющей успешное конструирование и производство изделий. В ходе литья под давлением объем материала может изменяться до 35%, пока расплав охлаждается и затвердевает. Если при решении

проблем конструирования и литья не был в достаточной мере учтен фактор усадки, то поток расплава в литевой форме будет создавать молекулярную ориентацию, которая, в свою очередь, приводит к анизотропии усадки. Направление и величина усадки у разных изделий существенно отличаются, различны они и на разных участках одного изделия. Направление и величина результирующих усадок влияют на конечный размер, форму и механические свойства изделия. Таким образом, чтобы минимизировать отрицательные эффекты, для разработки оптимальной конструкции изделий и стратегии литья очень важно понять процесс усадки.

Усадка термопластов может быть классифицирована на две большие группы – объемная и линейная. В объемной усадке могут быть выделены усадка при охлаждении, которая присуща всем полимерным материалам, и усадка кристаллизации, которая происходит в частично кристаллизующихся полимерах. При отсутствии воздействия внешних сил усадка будет носить анизотропный характер. Линейная усадка возникает из-за приложения сдвиговых и внешних сил, действующих на полимерный материал в процессе заполнения литевой формы и уплотнения. Такие силы создают ориентацию как в полимере, так и в наполнителях. Подобная ориентация может быть различной по направлению и величине и оказывать прямое воздействие на усадку полимерного материала.

Коробление отливок. Коробление – это изменение формы и размеров отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении.

Возможность изделия из пластмассы сопротивляться остаточным напряжениям зависит от жесткости материалов в момент извлечения и жесткости формы изделия. Если изделие извлекается из литевой формы, когда его температура достаточно высока, то модуль упругости материала будет меньше и поэтому оно будет более подвержено деформации. Увеличение времени выдержки изделия в литевой форме будет приводить к понижению температуры отливки и увеличивать модуль упругости материала. Геометрия отливки также может оказывать существенное влияние на возможность коробления изделия. Плоское изделие имеет простую структуру и в значительно большей степени может быть подвержено короблению, чем, например, такое изделие, как чашка, которая имеет пространственную

структуру. Иногда к плоскому изделию добавляют ребра, что приводит к увеличению сопротивления короблению. Однако ребра сами по себе могут создавать колебания в усадке и приводить к противоположному эффекту коробления.

Литьевая форма и технологические параметры литья могут влиять на коробление, вызванное колебанием усадки: направлением и величиной ориентации макромолекул, внутренними напряжениями в отливках, неоднородностью охлаждения; колебаниями давления поперек отливки.

Остаточные напряжения в полимерных изделиях. Колебания в усадке приводят к возникновению остаточных напряжений. Если величина напряжения превысит жесткость изделия, то будет происходить коробление. Однако вне зависимости от того, будет или не будет наблюдаться коробление, напряжения все равно будут присутствовать в изделии. Со временем эти напряжения могут приводить к преждевременному разрушению изделия под воздействием различных факторов. Остаточные напряжения, которые возникли из-за колебаний в коэффициенте усадки, могут суммироваться с напряжениями, которые возникают под воздействием внешней нагрузки. Кроме того, такие факторы окружающей среды, как воздействие химических веществ или температуры, могут усиливать действие остаточных напряжений, вызывая преждевременное разрушение изделия.

Опыт показывает, что остаточные напряжения в ряде случаев играют и положительную роль. Если остаточные напряжения совпадают по направлению с внешней нагрузкой, их величина должна быть вычтена из величины допустимого напряжения. Если же остаточные напряжения направлены против направления внешней нагрузки, то величина допустимых напряжений не изменяется и при снятии остаточных напряжений надежность конструкции будет повышаться.

Механические свойства. Механические свойства отливки могут зависеть как от потока, создающего ориентацию молекул, так и наличия линий спая, которые возникают при контакте фронтов двух потоков расплава. Ориентация создает анизотропию механических свойств. При наличии нагрузок на изгиб изделие будет прочнее в направлении, перпендикулярном ориентации молекул. При наличии нагрузок на растяжение изделие будет прочнее

в направлении, параллельном ориентации молекул. Поскольку ориентация молекул приводит к анизотропии усадки, эти изменения механических свойств наиболее сильны в материалах, армированных волокнами.

При возникновении линии спая будет наблюдаться ослабление степени ориентации молекул на этом участке, что в общем случае приведет к ослаблению механической прочности вдоль этой линии. В области линий спая, которые возникают при встречном сплавлении двух потоков, прочность будет меньше, чем у линий спая, которые возникают при соединении потоков расплавов под углом. Материал, усиленный волокнами, будет иметь значительное ослабление в области линий спая. Чем выше процент содержания волокон, тем выше процент потери прочности.

2.3. Изготовление прототипов пластмассовых изделий

Перед запуском изделия в производство желательно изготовить прототип конструкции. Прототипы могут выполнять различные функции – оценку факторов, связанных с усадкой, формой, структурой. Существует большое количество технологий изготовления прототипов пластмассовых изделий. К основным технологиям изготовления прототипов относят:

- механическую обработку;
- стереолитографию – технологию изготовления фотополимерных изделий;
- литье в эластичные силиконовые формы;
- литье под низким давлением;
- литье прототипов в опытной форме.

По любой из перечисленных технологий может быть получена модель-прототип, имеющая нормальный внешний вид. Однако достоверную информацию об эксплуатационных характеристиках изделия наиболее полно предоставляет литье в опытной форме. Размерные, прочностные, электрические и другие характеристики отливок в значительной степени зависят от процесса переработки. Из этого следует, что точная оценка технологического процесса возможна, если прототип изготовлен из материала, который предполагается

использовать в производстве. Если время и стоимость на получение такого прототипа превышает возможности предприятия, ограничиваются только компьютерным моделированием.

Изготовление прототипов механической обработкой. В данном случае используют традиционные способы – токарную обработку, фрезерование, сверление и т. д. Механическая обработка позволяет получать прототипы с высокой точностью, при этом нужно учитывать специфические физические свойства пластмасс – низкую теплоемкость и теплопроводность; заготовки в процессе обработки могут нагреваться и изменять свои размеры.

При изготовлении прототипов механической обработкой необходимо учитывать, что:

- на всех операциях механической обработки необходимо стремиться к устранению внутренних напряжений, которые возникли при изготовлении заготовки и могут привести к изменению размеров со временем или при повышении температуры;
- тепло, возникшее в пластмассовой заготовке в процессе ее обработки, не рассеивается так же быстро, как в металлах, и поэтому может быть достигнута температура, соответствующая размягчению материала. Однако применения агрессивных охладителей следует избегать, поскольку они способствуют возникновению трещин. Охлаждение сжатым воздухом избавляет от необходимости чистки прототипа после механической обработки;
- при фиксации заготовки перед обработкой очень важно убедиться, что локальные деформации, напряжения в ней отсутствуют. В некоторых случаях могут потребоваться специальные зажимы;
- для непродолжительной обработки на станках допускается использовать обычный инструмент; для длительной обработки рекомендуется применять алмазный инструмент или из карбида вольфрама. Инструмент должен быть всегда очень острым. Все контактные поверхности должны быть тщательно отполированы.

Пластмасс, которые рационально подвергать механической обработке, довольно мало: полиформальдегид (ПФ), полиамиды (ПА), непластифицированные поливинилхлориды (НПВХ), поликарбонаты (ПК), АБС-пластики, некоторые другие высокотемпературные материалы, обладающие высоким модулем упругости, например полиимиды и армированный фенолформальдегидный слоистый пластик.

В некоторых случаях, например, когда прототип служит мастер-моделью для изготовления опытной литьевой формы, он необходим в единственном экземпляре, поэтому механическая обработка – наиболее подходящий вариант. Для простых изделий может оказаться рентабельным изготовление механической обработкой десятка прототипов (до получения прототипа приемлемого качества), в то время как для сложных изделий изготовление механической обработкой даже двух прототипов нецелесообразно по экономическим причинам.

Метод механической обработки пластмассовой заготовки до сих пор широко применяется для изготовления единичных прототипов. Эта технология является универсальной, поскольку использует доступное механическое оборудование и промышленные полимерные материалы.

Стереолитография – технология изготовления фотополимерных моделей по данным трехмерного компьютерного проектирования.

Точные стереолитографические модели, созданные по САД-данным, позволяют:

- оценивать конструкцию и внешний вид разрабатываемых изделий;
- проверять собираемость и работоспособность конструкций;
- проводить аэродинамические и гидравлические испытания;
- изготавливать оснастку для опытных образцов (эластичные силиконовые, металлические напыляемые и металлополимерные формы);

Стереолитография имеет ряд существенных преимуществ:

- высокая точность моделей, необходимая для изготовления оснастки;
- возможность получения поверхности высокого качества;
- возможность получения прозрачных моделей для аэродинамического и т. п. тестирования.

Схема процесса прототипирования по технологии стереолитографии выполняется следующим образом. Лазер, активирующий реакцию, сканирует двумерную поверхность, выполняя сложные перемещения и «сшивая» материал в соответствующих областях – жидкий полимер сшивается только там, где его касается лазерный луч. Новый слой жидкого полимера распространяется по отвердевшей поверхности, и контур следующего слоя вычерчивается лазером. Процесс повторяется автоматически до полного построения прототипа, после чего он извлекается, сушится и очищается.

Литье в вакууме в эластичные формы – это процесс получения опытных образцов и небольших партий пластмассовых деталей любой сложности и габаритов без изготовления стандартной оснастки.

Принцип изготовления деталей по технологии литья в эластичные формы заключается в абсолютно точном копировании модели. Форма изготавливается простой заливкой полимеризующегося силикона вокруг модели. Модель удаляется из силиконовой формы после надреза формы по поверхности разъема. Литьевые смолы смешиваются в вакуумной камере установки, управляемой компьютером, и автоматически заливаются в силиконовую форму.

Возможность воспроизведения сложных форм, мельчайших деталей, любой текстуры поверхности и цвета обеспечивают МСР-смолы на основе полиуретана для литья в вакууме, имеющие различную твердость и термостойкость, что позволяет имитировать большинство пластмасс и резин, используемых в современном производстве.

Технология литья в эластичные силиконовые формы в вакууме позволяет:

- получить точные копии мастер-модели со стабильными размерами;
- проверить собираемость и работоспособность конструкций, отработать дизайн изделия;
- провести испытания до изготовления серийной оснастки;
- изготовить партию опытных образцов в течение нескольких часов после изготовления силиконовой формы;
- провести маркетинговые исследования.

Технология литья под низким давлением требует сначала создания мастер-модели. Она может быть изготовлена из дерева, пластмассы, мягкого металла, гипса, глины и будет использована в качестве шаблона для литевой формы, которую обычно изготавливают из силикона с отвердителем. Форма может состоять из двух или более частей (компонентов), и поэтому на мастер-модели необходимо иметь хорошо выраженные линии разъема и места расположения впускных литников.

Наиболее популярным материалом для литевой формы остается силикон. Он отлично воспроизводит структуру поверхности, имеет сравнительно большой срок службы (может выдерживать до 25 циклов литья), стоек к химическому воздействию, эластичен (допускает

поднутрения ограниченных размеров), имеет малую усадку, а также устойчив при транспортировке.

Силикон относится к вязким материалам и поэтому отверстия в прототипах изготавливают с помощью оформляющих вставок (рис. 2.4).

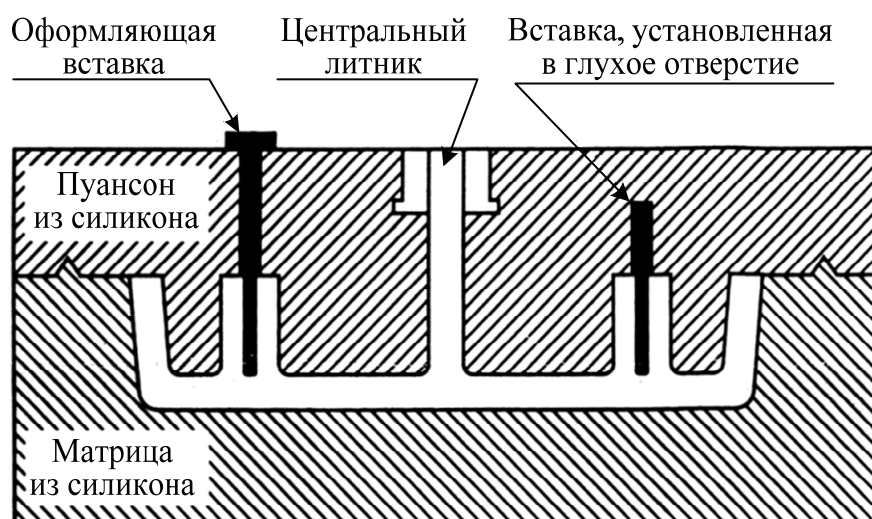


Рис. 2.4. Силиконовая форма с оформляющими вставками

Форма для прототипов – опытная форма. Под опытной формой понимают так называемую «быструю» форму, не предназначенную для серийного производства, а используемую для изготовления прототипа или малой партии готовых изделий. Конструктор под опытной формой может понимать модель, которая была изготовлена для получения ответа на вопрос: правильно ли спроектирована литьевая форма.

Бюджет изготовления опытной литьевой формы включает стоимость изготовления 3D-моделей и, если необходимо, ее модификаций. Цикл изготовления прототипа в форме иногда может быть больше, чем время отливки серийного изделия. Это объясняется и меньшей «мощностью» системы охлаждения такой формы, и ее ручной установкой.

Прототипы и готовые изделия, которые получены в опытной форме, могут требовать некоторой дополнительной обработки или изменения конфигурации и корректировки размеров и поверхности.

Опытные формы из эпоксидной смолы с наполнителями недорогие, с небольшим сроком службы. В качестве наполнителей используется алюминиевая, чугунная или стальная стружка (порошки).

Такие наполнители влияют на повышение сопротивления сжатию, увеличивают удельную теплопроводность, уменьшают усадку и коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР).

Малая усадка эпоксидной смолы обусловлена ее химической структурой. Поскольку отверждение смолы происходит при комнатной температуре, то в качестве материалов для изготовления прототипов могут применяться пластмассы или даже воск. Технология включает в себя операцию заливки жидкой пластмассы, которая обволакивает хорошо смазанную мастер-модель, закрепленную на раме. Рама должна обеспечивать нужное усилие смыкания и быть достаточно жесткой, чтобы не допустить изгиба опоры из-за давления в формирующей полости. Иногда может потребоваться дополнительная ручная обработка прототипа или заполнение герметиком неровностей поверхности. Форма может быть изменена, откорректирована – или механической обработкой, или добавлением в необходимых местах пластмассы. Формы из эпоксидной смолы используют в технологиях литья под низким давлением, но срок их службы весьма ограничен. Правильно расположенные металлические вставки (литниковые втулки, толкатели и т. п.) могут значительно увеличить срок службы эпоксидных форм.

2.4. Основы прочностного расчета изделий из пластмасс

Физико-механические свойства полимерных материалов зависят от видов химических соединений и химических элементов их образующих, степени полимеризации, определяющей величину макромолекул, структур макромолекул, их взаимного расположения и надмолекулярного строения твердого полимера. Особенности строения полимерных материалов обуславливают также ряд реологических явлений: релаксацию, механический гистерезис, последствие и течение, что отражается на деформативных свойствах пластических масс.

На рис. 2.5 приведена обобщенная в условных масштабах индикаторная диаграмма, связывающая деформации и напряжения во времени.

В первом квадранте (координаты: напряжение σ – относительная деформация ε) на участке OA имеется линейная связь между

напряжением и деформацией, подчиняющаяся закону Гука. Деформация на участке OA – упругая, восстанавливаемая. Постепенный переход на криволинейный участок AB соответствует характерной для полимерных материалов высокоэластической деформации. Если в точке B прекратить нагружение материала и проводить наблюдения во времени при неизменной деформации, то будет происходить процесс релаксации напряжений (четвертый квадрант). Напряжения в материале во время релаксации снижаются от σ_0 до σ_∞ .

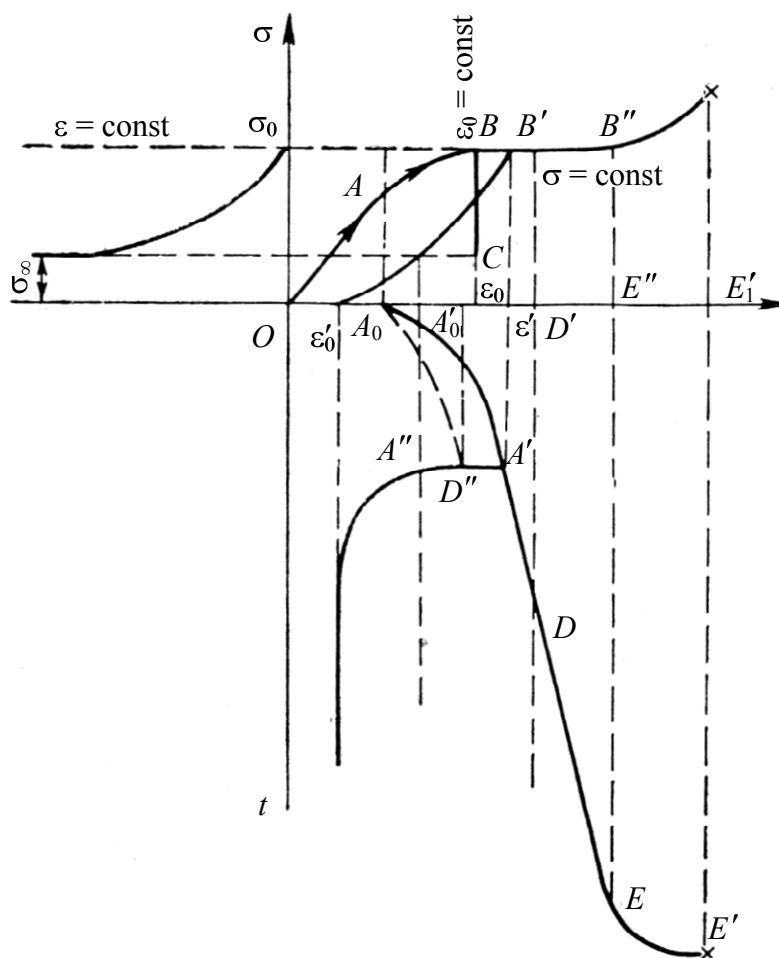


Рис. 2.5. Схема деформативности полимерных материалов

Кривая релаксации $\sigma = f(t)$ имеет сложную экспоненциальную связь со спектром времен релаксации. Отношение $\sigma_\infty / \sigma_0 = E_\infty$ определяет равновесный модуль, отличный от нуля для поперечно сшитых полимеров.

Скорость релаксации обуславливается переходом кинетических единиц из неравновесного состояния в равновесное в результате

их теплового движения. Поэтому скорость релаксации зависит от температуры, размеров кинетических единиц и их энергии взаимодействия.

При условии сохранения постоянства напряжения на участке $B'B''$ будет происходить изменение деформации во времени (второй квадрант $A'E$). Скорость деформации постепенно уменьшается на участке A_0D до постоянного значения, характеризующего условия вязкого течения материала. Участок DE соответствует вязкому течению материала при постоянном напряжении. За точкой E начинается участок упругого упрочнения EE' и происходит последующее разрушение.

Таким образом, общая деформация складывается из упругой (OA_0), высокоэластической (A_0A_0'), течения ($A_0'E''$) и упрочнения перед разрушением ($E''E_1'$).

Если в точке B' освободить материал от нагрузки, то процесс разгрузки будет проходить по другой зависимости. Разгрузка характеризуется запаздыванием деформации по отношению к напряжениям. Первоначально происходит упругое восстановление (участок $A'A''$), а затем деформация восстановления первоначального размера протекает с запаздыванием (упругое последствие). Экстраполируя прямую DE до начала координат, можно найти компоненты эластической деформации, соответствующие вязкому течению, — $A_0'D'$ и A_0A_0' . Следовательно, при разгрузке материала в точке A_0' компонента деформации, соответствующая вязкому течению $\varepsilon'A_0' = A'D''$, будет равна остаточной деформации $O\varepsilon_0'$. Петля $OABV'\varepsilon_0'$ на индикаторной диаграмме показывает работу, затраченную на потери внутри материала вследствие механического гистерезиса.

Высокомолекулярные материалы в зависимости от температуры меняют деформационные свойства. При температуре хрупкости $T_{хр}$ и ниже деформации, приводящие к разрушению, не превышают 1% и являются упругими. В интервале температур от хрупкости до стеклования T_c деформации складываются из упругих, высокоэластических и вязкотекучих и достигают нескольких десятков процентов до разрушения (рис. 2.6). Предел

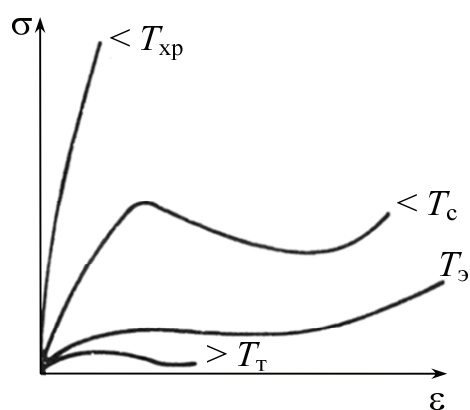


Рис. 2.6. Влияние температуры на деформационные свойства полимеров

текучести определяется образованием шейки при растяжении образцов, характеризуемой напряжением вынужденной эластичности для стеклообразных материалов или напряжений рекристаллизации для полимеров, находящихся в кристаллическом состоянии.

С повышением температуры выше стеклования до температуры текучести T_T имеют место высокоэластические деформации, равные нескольким сотням процентов. Выше температуры текучести происходит течение расплава.

В табл. 2.1 приводятся данные о температурах стеклования и хрупкости некоторых полимерных материалов.

Таблица 2.1

Температуры хрупкости и стеклования

Полимер	Температура, °С	
	хрупкости	стеклования
Полистирол	90	100
Полиметилметакрилат	10	110
Поливинилхлорид	–90	81
Полиизобутилен	–	–74
Политетрафторэтилен	–50	–150
Полиамид	–	55
Полиэтилен НД	–70	–70
Полиэтилен ВД	–	–70
Полипропилен	–10 ÷ +20	–30

В соответствии с общей закономерностью для твердых тел разрушающее напряжение для пластмасс меняется со скоростью нагружения. Эти зависимости иллюстрируются данными рис. 2.7.

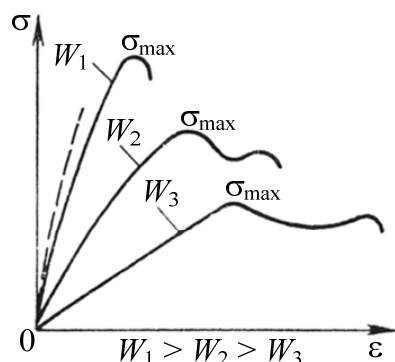


Рис. 2.7. Влияние скорости деформации на сопротивление полимерных материалов

Исследованиями, проведенными С. Н. Журковым, показано, что разрушающее напряжение связано со скоростью нагружения υ следующей зависимостью:

$$\sigma_b = \frac{\ln(A\alpha)}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \ln \upsilon, \quad (2.1)$$

где A и α – постоянные эмпирические коэффициенты (табл. 2.2).

Однако не всегда полимеры подчиняются зависимости (2.1). У эластомеров при больших скоростях деформаций предел прочности снижается.

Таблица 2.2

Коэффициенты уравнений

Материал	A, c	$\alpha, \text{см}^2/\text{кгс}$
Преспорошок	$1,59 \cdot 10^{21}$	0,145
АГ-4В	$1,59 \cdot 10^{65}$	0,16
АГ-4С	$5,62 \cdot 10^{31}$	0,143
Волокнит	$2,0 \cdot 10^{22}$	0,157
Полиамид	$2,0 \cdot 10^{11}$	0,46
Полистирол	$6,4 \cdot 10^9$	3,1
Полихлорвинил	$6,3 \cdot 10^7$	6,9
Полиметилметакрилат	$1,0 \cdot 10^{10}$	3,4
НПВХ	$15 \cdot 10^8$	5,2

На усталостные свойства пластмасс влияют температура, влажность и агрессивность среды, вид периодически повторяющегося переменного напряженного состояния, частота колебаний, форма и размеры изделий.

Для чистых полимерных материалов существуют предельные значения усталостных напряжений (предел выносливости), ниже которых разрушения не происходит. Полимерные материалы, содержащие наполнители, не имеют истинного предела усталости (или он очень низок). Поэтому для этих материалов за предел выносливости принимается разрушающее напряжение, соответствующее 10^7 – 10^8 циклам.

Стойкость к усталости (%) характеризуется коэффициентом

$$k = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} 100,$$

где σ_{-1} – предел выносливости; σ_b – предел прочности при статической нагрузке.

Долговечность деталей машин, эксплуатирующихся в условиях действия знакопеременных и ударных нагрузок, возрастает, если применяются материалы, обладающие демпфирующими свойствами. Полимерные материалы имеют хорошие демпфирующие свойства по сравнению с металлами.

Характеристикой таких свойств является коэффициент относительной демпфирующей способности, равный

$$\eta_d = \frac{2\theta E}{P^2} 100, \quad (2.2)$$

где θ – работа демпфирования; E – модуль упругости; P – нагрузка.

Предел прочности, как это показано в работах С. Н. Журкова, определяется не только напряжением, но и тепловым движением. Приложенная к образцу нагрузка понижает внутреннюю энергию химических связей и способствует разрушению материала под действием теплового движения. Это явление описывается уравнением

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{u - \gamma\sigma}{kT}}, \quad (2.3)$$

где τ – время сопротивления образца (долговечность); τ_0 – постоянный коэффициент ($10^{-12} \div 10^{-13}$ с); u – энергия химических связей; γ – стерический коэффициент; σ – напряжение; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

При постоянной температуре уравнение (2.3) принимает более простой вид:

$$\tau = A e^{-\alpha\sigma}. \quad (2.4)$$

Основной целью прочностного расчета изделий является определение действующих напряжений в элементах конструкции и сопоставления их с разрушающими напряжениями полимера. При этом должно соблюдаться условие:

$$\sigma_{\max_{\text{экв}}} = [\sigma], \quad (2.5)$$

где $\sigma_{\max_{\text{экв}}}$ – суммарное эквивалентное действующее напряжение в изделии; $[\sigma]$ – допустимое напряжение на данный вид полимера при условиях эксплуатации.

Допускаемое напряжение зависит от разрушающего напряжения материала, коэффициента запаса прочности n и равно:

$$[\sigma] = \sigma_{\text{разр}} / n. \quad (2.6)$$

Коэффициент запаса прочности изменяется от технологии изготовления изделий, вида материала, стабильности его свойств, а также от назначения изделия и условий эксплуатации и определяется как

$$n = SKTN, \quad (2.7)$$

где S – коэффициент условий эксплуатации; K – расчетно-конструкторский коэффициент; T – технологический коэффициент; N – коэффициент свойств материала.

Коэффициенты рассчитывают по следующим формулам (значения их множителей приведены в табл. 2.3):

$$\begin{aligned} S &= S_1 S_2 S_3 S_4; \\ K &= K_1 K_2 K_3; \\ T &= T_1 T_2 T_3 T_4; \\ N &= N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 N_8 N_9. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Когда изделие из пластмассы является комплектующим для какого-либо иного с установленным коэффициентом запаса прочности, то запас прочности изделия из пластмассы будет соответствовать произведению коэффициента запаса прочности, рассчитанного по формуле (2.7), и установленного коэффициента запаса прочности данного изделия. Пластмассы не имеют границы усталости. Поэтому при переменной нагрузке принято ограничивать количество циклов нагружения. Обычно число циклов устанавливается в границах от 10^6 до 10^7 .

Таблица 2.3

Значения множителей коэффициента запаса прочности

Название коэффициента	Название множителя	Характеристика множителя	Значение множителя
1	2	3	4
Коэффициент условий эксплуатации S	Общий запас S_1	Для термореактивных пластмасс	1,15–1,30
		Для термопластичных пластмасс	1,05–1,10
	Ответственность эксплуатации S_2	Для термореактивных пластмасс	1,00–2,50
	Вид нагрузки S_3	Статическая	1,00
		Пульсирующая	1,20
		Знакопеременная	1,30
	Агрессивность среды S_4	Нормальные условия	1,00
		Влажная среда	1,10
		Органические растворители	1,30–3,60

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4
Расчетно-конструкторский коэффициент K	Точность расчета K_1	Точное Приблизительное	1,00 1,40–1,60
	Концентрация напряжений K_2		1,00–1,60
	Сложность изделия K_3		1,00–1,15
Технологический коэффициент T	Сложность изготовления изделия T_1	Литье Прессование	1,05–1,10 1,05–1,15
	Сложность монтажа T_2	Диаметр посадочного отверстия, мм до 50 от 50 до 100 от 100 до 200 от 200 до 500	1,00 1,05 1,10 1,15
	Условия вставки T_3	Без посадок Жесткие посадки Нежесткие посадки	1,00 1,70–2,60 1,20–1,50
	Способ отверждения T_4	Продолжительное Автоклавное В пресс-форме Высокочастотное	1,05 1,05–1,15 1,10–1,20 2,00–2,50
	Условия испытания материала N_1		1,10
Коэффициент свойств материала N	Вид деформации N_2	Прогиб Растяжение Сжатие Срез Кручение	1,00–1,10 1,40–1,75 1,10–1,65 1,25–1,50 1,40–1,60
	Изменение свойств N_3	Литье Прессование	1,10–1,30 1,20–1,40
	Термодинамическая природа материала N_4	Термореактивные Термопластичные Наполненные термопластичные	1,00 1,05–1,20 1,10–1,20
	Физико-механические свойства N_5	Анизотропные Изотропные	1,00 1,10
	Температурно-временная зависимость N_6	Обратимая Необратимая	1,00–1,50 1,40–2,60
	Масштабный фактор N_7		1,00–1,20
	Строение материала N_8	Ненаполненные Наполненные Армированные	1,05–1,10 1,10–1,15 1,00
	Состояние поверхности N_9		1,00–1,50

Эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ изделий из термопластичных пластмасс для объемно-напряженного состояния при кратковременном нагружении рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (2.9)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – напряжения на трех главных направлениях (главные напряжения).

Для плосконапряженного состояния при кратковременном нагружении эквивалентное напряжение изделий из термопластичных пластмасс рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}. \quad (2.10)$$

Эквивалентное напряжение изделий из термореактивных пластмасс для объемно-напряженного состояния при кратковременном нагружении определяют согласно формуле

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{2}[a(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} + \Delta] \quad (2.11)$$

при

$$a = \frac{3(1-y)}{5+y}; \quad c = \frac{(y+2)(y+1)}{\sqrt{2(5+y)}}; \quad y = \frac{\sigma_p}{\sigma_{\text{сж}}},$$

где Δ – поправочный коэффициент; σ_p – предел прочности при кратковременном растяжении; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности при кратковременном сжатии.

Главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в опасных сечениях находят методами, которые применяются в сопротивлении материалов. Пределы прочности при длительном нагружении в 8–10 раз меньше, чем пределы прочности при кратковременном нагружении. При кратковременном статическом нагружении допустимые напряжения для термореактивных пластмасс в 1,2–1,5 раза, а для термопластичных – в 2 раза меньше, чем соответствующие им пределы прочности. Для ударных нагрузок рекомендуется снижать допустимые напряжения на 10–30% для термопластичных пластмасс и на 50–60% для термореактивных пластмасс в сравнении с соответствующими пределами прочности.

2.5. Особенности конструкции, обусловленные технологическими требованиями

2.5.1. Технологические уклоны

Технологические уклоны необходимы для обеспечения беспрепятственного удаления изделий из формы и облегчения течения расплавленного материала в процессе ее заполнения (рис. 2.8).

Технологические уклоны в некоторых случаях могут иметь и конструктивное значение.

Технологический уклон внутренних поверхностей и отверстий деталей должен быть больше уклона наружных поверхностей; этим учитывают различный характер усадки поверхностей.

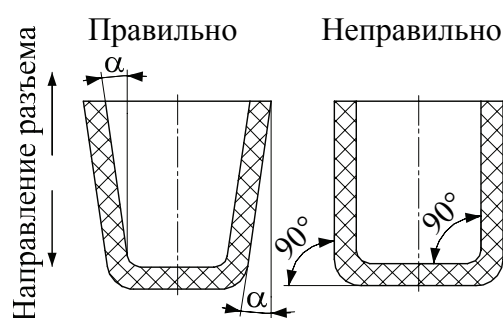


Рис. 2.8. Примеры правильного (с технологическими уклонами) и неправильного (без технологических уклонов) оформления деталей

Величина уклона оказывает существенное влияние на размерную точность элементов детали, лежащих в плоскостях, перпендикулярных направлению усилия замыкания форм или направлению перемещения составных частей. Поэтому полная погрешность таких размеров и величина полного допуска должны включать, кроме значения S_T , еще и значение $\Delta_{ук}$ (рис. 2.9). Под S_T (технологический допуск) понимают величину, ограничивающую все погрешности, возникающие при изготовлении детали и ее охлаждении до нормальной температуры, а $\Delta_{ук}$ – погрешность на технологические уклоны.

Значения $\Delta_{ук}$ зависят от высоты H детали и угла уклона α . Полную погрешность размеров $\Delta_{полн}$, на которую влияет технологический уклон, определяют по формуле

$$\Delta_{полн} = D_2 - D_1 = S_T + \Delta_{ук};$$

$$\Delta_{ук} = 2H \operatorname{tg} \alpha, \text{ или } \Delta_{ук} = Hk,$$

где k – уклон в виде отношения.

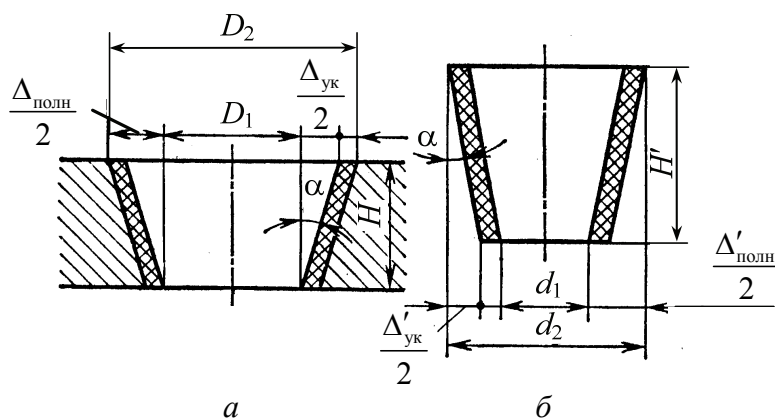


Рис. 2.9. Схема технологического уклона:
 а – для внутреннего размера D_1 ; б – для наружного размера d_1
 (D_1, d_1 – номинальные размеры)

Наиболее рационально обозначать уклоны величинами отношений. Углы уклонов и значения их тангенса применительно к ряду нормальных отношений следующие:

Отношение	1 : 50	1 : 100	1 : 200	1 : 300	1 : 400	1 : 500	1 : 600
Угол уклона, α	1°8'45"	34'23"	17'11"	11'25"	8'36"	6'55"	5'45"
$\text{tg } \alpha$	0,02	0,01	0,005	0,00333	0,0025	0,002	0,00166

При выборе оптимального угла технологического уклона следует учитывать характер поверхности детали; степень механической прочности элемента или детали в целом; механическую прочность применяемой пластмассы; способ выталкивания детали; степень чистоты формующих поверхностей.

Элементам деталей, имеющим лишь конструктивное значение (ребра жесткости, перемычки, выступы, углубления), можно давать сколь угодно большие уклоны, величина которых определяется обычно внешним видом детали.

Рекомендуются следующие углы уклона:

Наружные поверхности	15'; 30'; 1°
Внутренние поверхности.....	30'; 1°; 2°
Отверстия глубиной до $1,5d$	15'; 30'; 45'
Ребра жесткости, выступы	2°; 3°; 5°; 10°; 15°

Технологические уклоны в некоторых случаях могут иметь и конструктивное значение.

Технологические уклоны не назначают на элементах деталей, которые могут быть выполнены без уклонов. Например, уклоны не назначают на плоских монолитных деталях толщиной 5–6 мм и менее, на тонкостенных деталях высотой 10–15 мм, на наружных поверхностях полых деталей высотой до 30 мм (рис. 2.10, *а*), на конусных деталях (рис. 2.10, *б*) и деталях, имеющих сферическую форму (рис. 2.10, *в*).

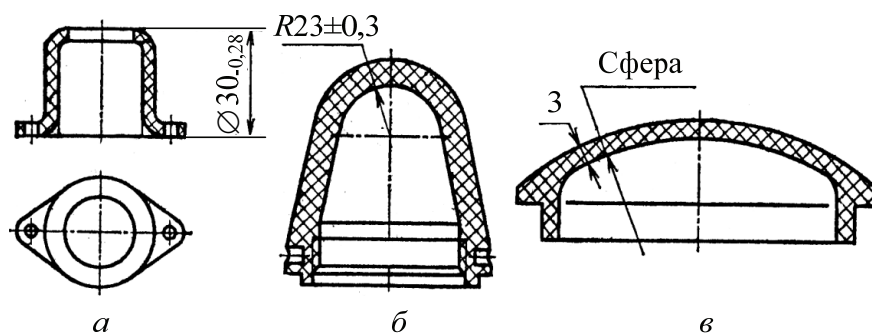


Рис. 2.10. Детали без технологических уклонов

2.5.2. Стенки

Толщина стенок оказывает влияние на возникновение внутренних напряжений, являющихся причиной образования вздутий, трещин, коробления во время выдержки детали в форме.

Толщина стенки детали зависит от длины (высоты) стенки, текучести пластмассы, механической прочности материала, конфигурации элемента детали.

Наиболее часто встречающиеся типовые сопряжения стенок деталей показаны на рис. 2.11.

Соотношение между толщиной стенки и длиной детали должно иметь строго определенное значение, но устанавливают его окончательно с учетом других факторов. Влияние текучести материала особенно резко проявляется при использовании термореактивных пластмасс, текучесть которых значительно ниже текучести термопластов. Из пластмасс, обладающих низкой текучестью, можно получать изделия небольшой высоты с толстыми стенками, а из пластмасс, имеющих большую текучесть, высокие тонкостенные конструкции.

При большей механической прочности пластмасс возможно получение более высоких тонкостенных деталей; при низкой прочности подобные изделия получать недопустимо, хотя технологически это возможно.

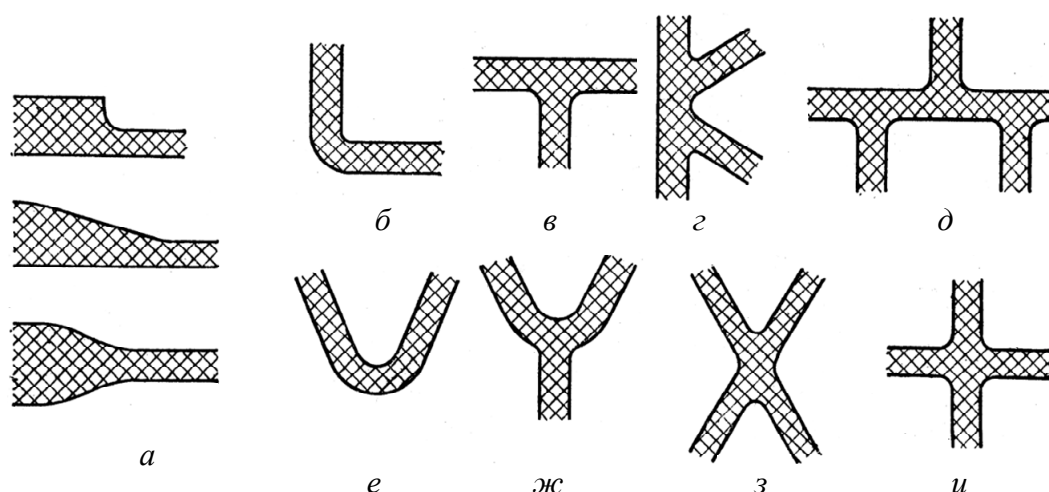


Рис. 2.11. Типовые сопряжения стенок:
а – лобовое; *б* – L-образное (угловое); *в* – Т-образное; *г* – К-образное;
д – К-образное (шахматное); *е* – V-образное; *ж* – вилкообразное;
з – X-образное; *и* – крестообразное

Толщину сплошных сечений, за исключением отдельных случаев, не рекомендуется назначать свыше 10–12 мм. Толщину стенок можно уменьшить применением ребер жесткости или приданием стенкам рациональных профилей (рис. 2.12).

При конструировании деталей необходимо учитывать, что прочность пресс-материалов при сжатии значительно превосходит прочность их при растяжении.

Балку из пресс-материала (рис. 2.13), имеющую сечение с различными значениями коэффициентов запаса прочности в области растяжения и сжатия, с учетом ее изгиба следует конструировать так, чтобы слои, работающие на растяжение, имели больший коэффициент запаса прочности.

Для определения наименьшей допускаемой толщины стенки (δ , мм) изделия из термореактивных пластмасс можно использовать эмпирическую формулу:

$$\delta = \frac{2h}{L - 20} + \frac{1}{\lg a}, \quad (2.12)$$

где h – предполагаемая высота, мм; L – величина текучести по Рашигу, мм; a – удельная ударная вязкость пластмассы, кгс·см/см².

Эта формула дает удовлетворительные результаты при высоте стенки до 200 мм, величине текучести по Рашигу 50–200 мм, удельной ударной вязкости пресс-материала 2,5–100 кгс·см/см².

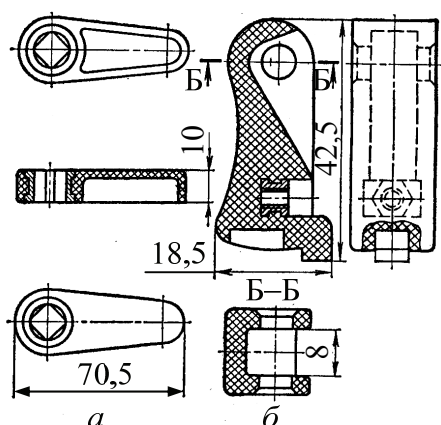


Рис. 2.12. Примеры уменьшения толщины стенок:
 а – ручка (поликапролактан);
 б – гашетка (пресс-материал АГ-4)

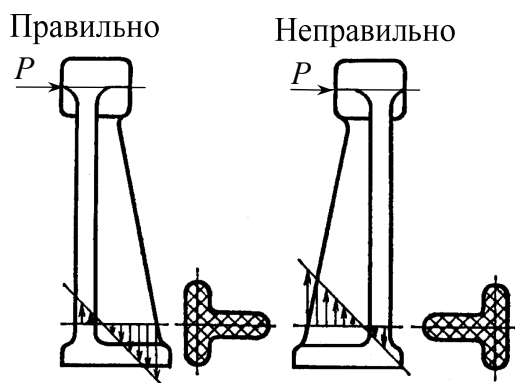


Рис. 2.13. Пример конструктивного оформления балки из пресс-материала с учетом условий ее работы

Для определения наименьших значений толщины стенки деталей из термопластических пластмасс рекомендуется формула

$$\delta = \frac{2l_{\max} \tau_m}{P \left(1 - \sqrt{\tau_v / \tau_{\text{охл}}}\right)}, \quad (2.13)$$

где l_{\max} – максимальная длина течения расплава; τ_m – напряжение сдвига около стенки формы, ниже которого останавливается течение; P – давление на входе в формующую полость; τ_v – время впрыска в форму; $\tau_{\text{охл}}$ – время охлаждения изделия.

При конструировании деталей из пластмасс необходимо соблюдать условие равенственности, т. е. во всех сечениях выдерживать одинаковую толщину. При разностенности может быть нарушена норма времени выдержки, величина которой определяется наибольшей толщиной стенки изделия. Различная скорость охлаждения отдельных элементов детали приводит к ухудшению ее свойств; при литье термопластов наличие утолщенных мест приводит к браку из-за образования в них газовых пузырей или поверхностных утяжин. Так как вероятность появления дефектов возрастает с увеличением количества пластмассы в узле, то по отношению массы в различных узлах сопрягаемых стенок можно с достаточной степенью точности получить представление о возможности их возникновения и выбрать наиболее технологичный вариант.

Варианты сопряжения стенок с одинаковыми радиусами закруглений показаны на рис. 2.14. Вписанные окружности позволяют

определить увеличение массы в сопряжениях. Как видно, наименьшая вероятность дефектов будет в конструкции на рис. 2.14, а, наибольшая – на рис. 2.14, г. Графический метод определения величины возможных усадочных дефектов можно применять при сопряжении стенок с ребрами и ребер между собой. В случае, когда по конструктивным соображениям невозможно обеспечить равенство стенок, допускаемая разность в толщинах стенок при прессовании должна составлять не более 2 : 1; при литье под давлением деталей простой конфигурации, плоскостных монолитных с габаритными размерами до 80 мм и отношением высоты к длине – не более 1 : 5 или деталей типа втулок монолитных и сквозных с теми же габаритами разностенность должна быть не больше 2,5 : 1.

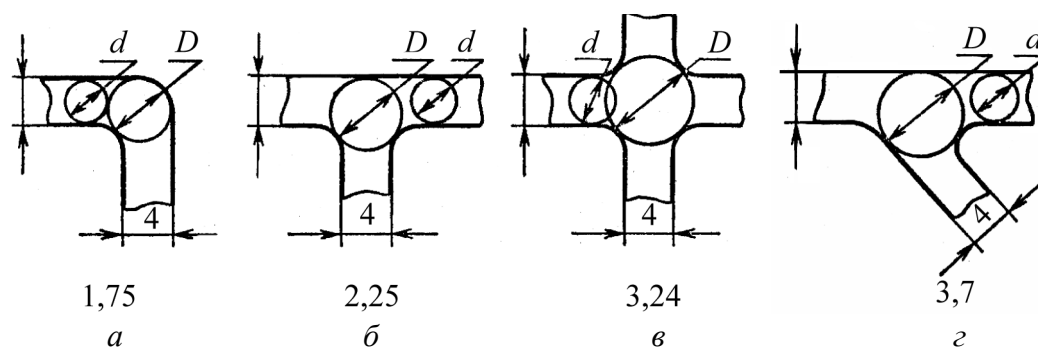


Рис. 2.14. Графический метод определения зон возможных усадочных раковин в зависимости от увеличения массы в узле, %:
а – на 75; б – 125; в – 224; г – 270

Условие равенности стенок рекомендуется соблюдать при конструировании приливов под шпильку, зубчатых колес, шкивов, маховиков, роликов и других деталей (рис. 2.15).

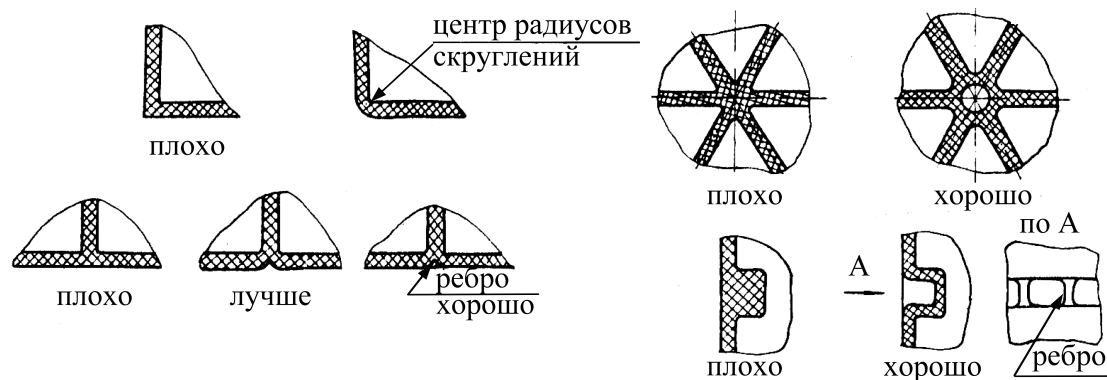


Рис. 2.15. Пример равнотолщинных отливок

В ряде случаев утолщения необходимы, поэтому правильно сконструированной деталью можно считать такую, у которой величина разностенности не превышает 30% от наименьшей толщины стенки и отсутствуют резкие переходы.

2.5.3. Радиусы закруглений

На изделиях из пластмасс с наружной и с внутренней стороны предусматривают закругления, которые способствуют:

- увеличению механической прочности детали в целом или отдельных ее элементов;
- устранению или уменьшению внутренних напряжений, следствием которых являются коробление и другие виды отклонений от правильной геометрической формы;
- уменьшению величины и колебаний усадки детали, следовательно, повышению точности. Кроме того, благодаря закруглениям облегчается течение массы в форме во время процесса формообразования; упрощается изготовление формы и уменьшается ее износ; упрощается процесс извлечения детали из формы; улучшается внешний вид изделия.

Без закруглений можно выполнять поверхности, находящиеся в плоскости разъема форм (при прессовании), так как на них закругления (фаски) величиной 0,2–0,3 мм образуются после снятия облоя механической обработкой, и наружные кромки деталей или кромки отверстий в местах соединения оформляющих элементов пресс-формы. Острые кромки на детали, необходимые по чисто конструктивным соображениям, также должны быть закруглены; радиус закругления (технологический) в этом случае берут минимальным (0,5 мм).

Радиусы закруглений зависят от материала детали, толщины стенки, типоразмера, инструмента, применяемого при обработке пластмассовой детали.

Радиусы закруглений и фаски для деталей из пластмасс и металла регламентированы ГОСТ 10948–64.

Минимальный радиус наружного закругления для деталей из термореактивных пластмасс должен составлять 0,8 мм, а для термопластов 1–1,5 мм.

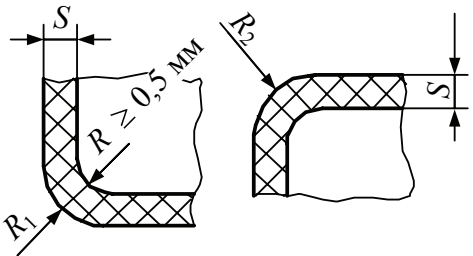
Рекомендуемые наименьшие допускаемые радиусы (мм) закруглений для внутренних углов деталей следующие:

Полиметилметакрилат, полистирол	1,0–1,6
Полиамидные смолы, полиолефины	0,5–1,0
Фенопласты, аминопласты	0,5–1,6

Радиусы закруглений коробкообразных деталей назначают с учетом возможности применения при изготовлении форм стандартных фрез (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Стандартные радиусы закруглений

	Диаметр фрезы	R_1	R_2
	3–6	0,3; 0,5; 0,8	1,6–3,0
	8–12	0,8; 1,0; 1,6	4,0–6,0
	16	1,6; 2,0; 2,5; 3,0	8,0
	25	2,0; 2,5; 3,0; 5,0	12,0
	50	3,0; 5,0; 8,0; 10,0; 12,0	25,0

Для повышения жесткости конструкции таких деталей увеличивают толщину стенки на закруглениях и углах (рис. 2.16).

Радиусы закруглений у оснований бобышек, различных выступов должны соответствовать рис. 2.17

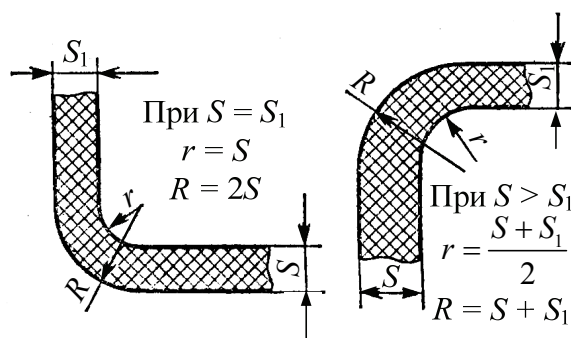


Рис. 2.16. Радиусы закруглений

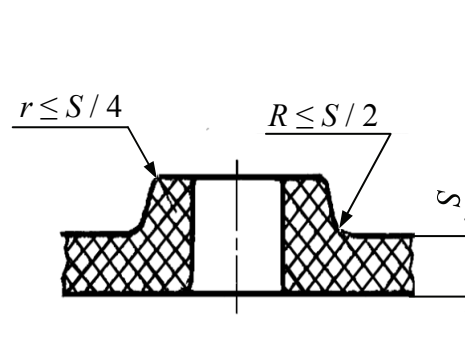


Рис. 2.17. Радиусы закруглений выступов

При выполнении радиусов закруглений на деталях рекомендуется: величину их по всей длине закругления сохранять одинаковой; на одном изделии принимать наименьшее количество значений радиусов закруглений; не принимать максимальных значений.

2.5.4. Углубления и выступы

Многие изделия из пластмасс имеют специфические конструктивные элементы, (углубления, пазы, выступы, приливы) различного назначения. Такие элементы улучшают качество изделий, в некоторых случаях уменьшают массу и создают благоприятные условия для последующей обработки деталей и их сборки.

Примеры конструктивного оформления углублений, предназначенных для выравнивания толщины стенки и уменьшения массы детали, показаны на рис. 2.18, *а* – на крышке, *б* – на элементе подвесного конвейера.

В ряде случаев механическая прочность тонкостенных частей форм и текучесть материала ограничивают размеры углублений, выемок и других подобных элементов, причем зачастую эти элементы являются сопрягаемыми с элементами других деталей. При конструировании пластмассовых изделий с углублениями и технологическими отверстиями необходимо стремиться к такой их конфигурации, при которой поверхность углубления (или отверстия) отстояла бы от поверхности изделия на расстояние, равное толщине изделия. Внутренние углы и кромки этих элементов обязательно должны быть закруглены. Следует избегать поднутрений в направлении, перпендикулярном к замыканию формы.

В процессе конструирования иногда возникает необходимость в создании изделий, имеющих различного рода поднутрения, оси которых расположены под некоторым углом к направлению прессования. Хотя подобные поднутрения могут быть получены в форме, их все же следует избегать, так как они резко удорожают форму за счет применения специ-

альных подвижных (чаще механизированных) формующих элементов, назначения дополнительных плоскостей разъема форм.

Незначительные изменения конструкции деталей (рис. 2.19) часто позволяют устранять поднутрения. Однако если поднутрения необходимы в связи с требованиями сборки или эксплуатации деталей, они должны быть сохранены, но конструкция должна быть сборной, т. е. состоящей из двух частей и более.

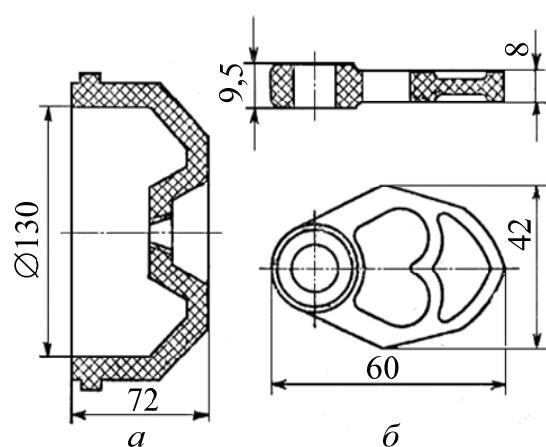


Рис. 2.18. Пример выполнения углублений

Конструкция пластмассового изделия по возможности не должна иметь выступов или приливов значительной длины. Если этого избежать невозможно, то для придания им необходимой прочности и жесткости следует вводить ребра жесткости или проектировать сборную конструкцию.

К технологическим выступам относят выступы, предназначенные для размещения выталкивателей. Они могут отсутствовать на изделии, обладающем достаточной прочностью, но обязательны на тонкостенных или ребристых изделиях.

При выполнении выступов и приливов необходимо предусматривать плавное, а не резкое их утолщение, а также по возможности стремиться к тому, чтобы их высота не превышала $1/3$ высоты основной стенки.

Для получения бокового сквозного отверстия в вертикальной стенке изделия (рис. 2.20) последнюю следует конструировать с минимальным уклоном, так, чтобы линия xy , параллельная вертикальной оси, касалась бы более высокого внутреннего края A и более низкого наружного края B бокового отверстия.

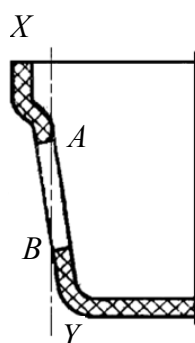


Рис. 2.20. Боковое сквозное отверстие в вертикальной стенке изделия

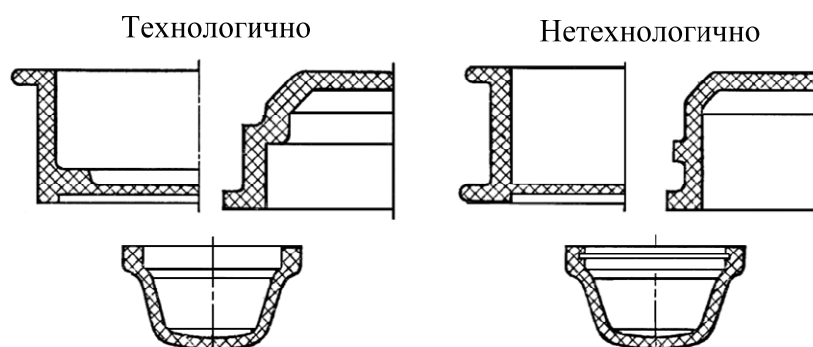


Рис. 2.21. Примеры правильного и неправильного оформления деталей с углублениями

Примеры конструирования пластмассовых изделий с различными углублениями, пазами и выступами показаны на рис. 2.21.

2.5.5. Ребра жесткости

Для увеличения жесткости и прочности пластмассовых деталей, усиления особо нагруженных мест или выступающих частей, а иногда по технологическим соображениям рекомендуется предусматривать в конструкции детали ребра жесткости.

Они позволяют уменьшить сечения отдельных элементов детали, снизить внутренние напряжения в местах сопряжения стенок различного сечения, а также способствуют предотвращению коробления или даже трещин. В зависимости от назначения ребра жесткости подразделяют на следующие виды:

- усиливающие; они служат для увеличения прочности детали в определенных сечениях (рис. 2.22), уменьшения напряжений, особенно в тонкостенных деталях (рис. 2.23);
- разводящие; эти ребра воспринимают сосредоточенные нагрузки и переносят их рассредоточенно на большую площадь стенки детали; например, такую роль выполняют ребра крышки золотника (рис. 2.24), находящегося в масляной среде и подвергающегося динамической нагрузке;
- обеспечивающие равенство стенок детали (рис. 2.25);
- конструктивные, имеющие целевое назначение; на рис. 2.26 показана крыльчатка насоса, лопасти которой служат основными эксплуатационными элементами;

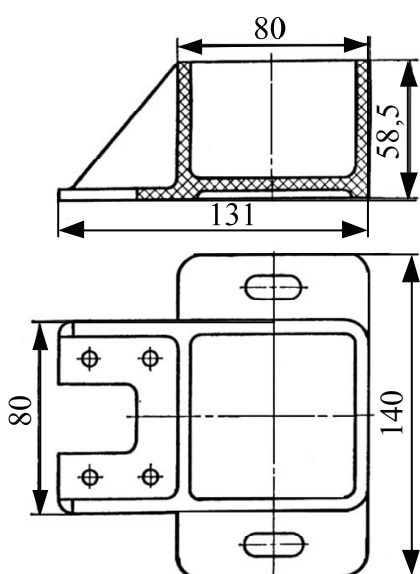


Рис. 2.22. Ребра жесткости на корпусе смазывающего устройства

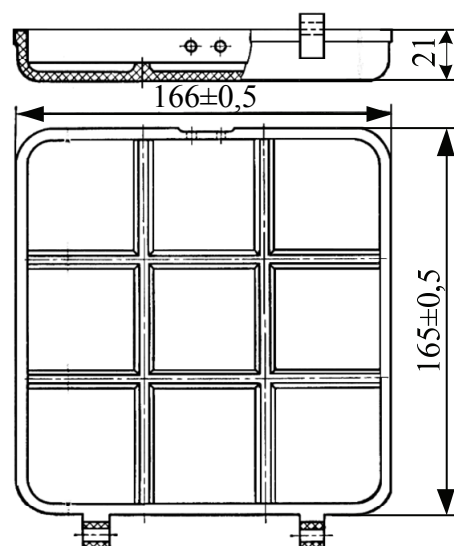


Рис. 2.23. Ребра жесткости на крышке

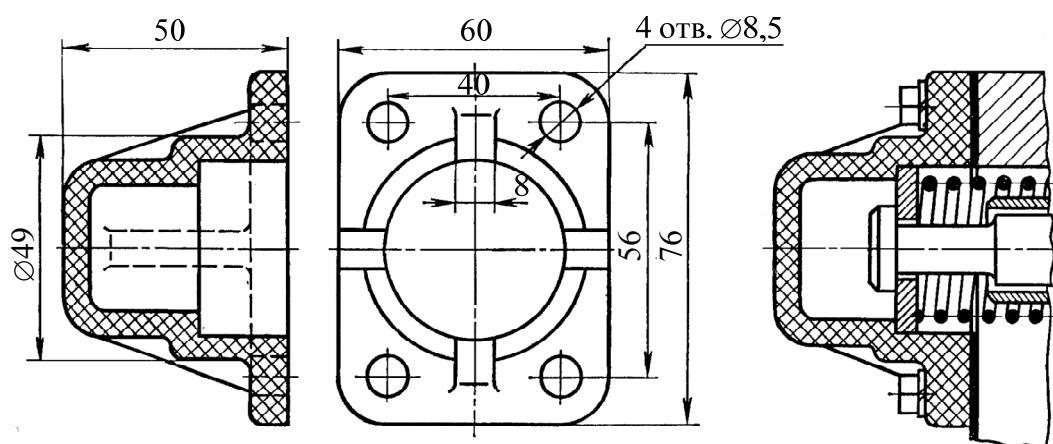


Рис. 2.24. Ребра жесткости
на крышке золотников гидравлического распределителя
автопогрузчика

• технологические, применяемые в зависимости от технологического процесса изготовления пластмассовой детали; к ним относят ребра, используемые для устранения коробления детали, облегчения извлечения детали из формы, уменьшения времени выдержки детали в форме.

Рекомендуемые соотношения элементов ребер жесткости приведены на рис. 2.27.

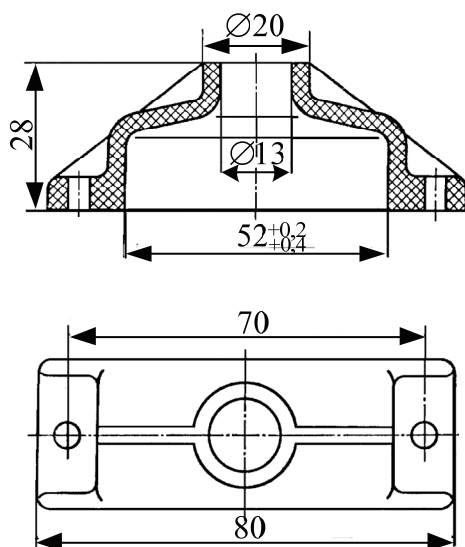


Рис. 2.25. Ребра,
способствующие осуществлению
равноценности детали

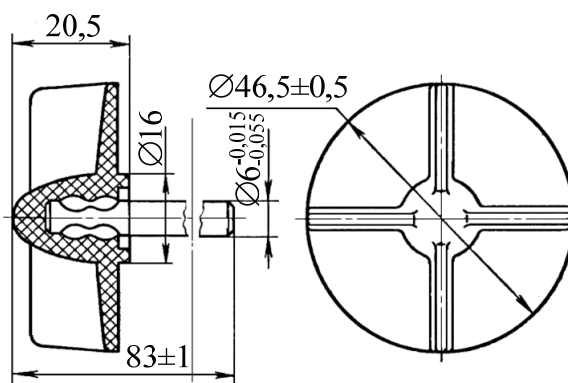


Рис. 2.26. Конструктивные
ребра на крыльчатке
насоса

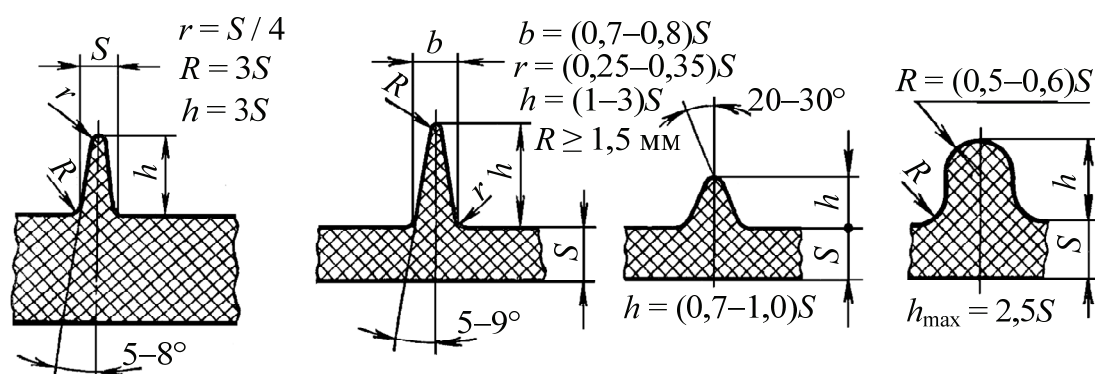


Рис. 2.27. Рекомендуемые соотношения элементов ребер жесткости

При конструировании пластмассовых деталей с ребрами жесткости необходимо принимать во внимание следующие рекомендации:

- ребра жесткости не должны быть толще стенки детали или ее элемента, к которому примыкают. Оптимальная толщина ребер жесткости не должна превышать 0,6–0,8 толщины сопрягаемой стенки (рис. 2.28). При большей толщине ребер возможно появление трещин в местах скопления массы на стыке ребра жесткости со стенкой;

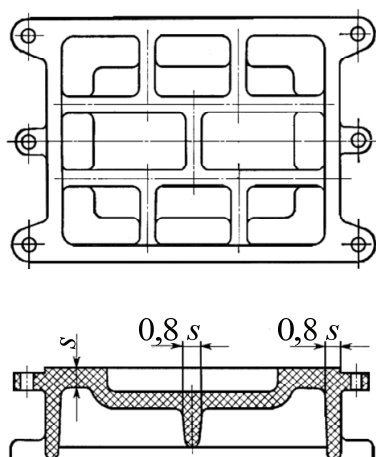


Рис. 2.28. Пример оформления ребер жесткости на детали

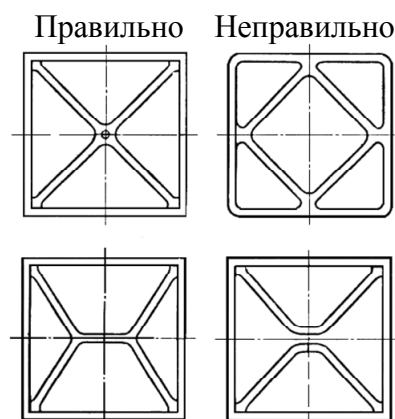


Рис. 2.29. Пример расположения ребер жесткости

- ребра жесткости не должны доходить до опорной поверхности или до края примыкающего к нему элемента на 0,5–1,0 мм. Это предохраняет от выхода ребра за пределы опорной поверхности

при формообразовании и допускает незначительные деформации поверхности детали, которая усилена этими ребрами. Кроме того, желательно, чтобы ребра жесткости примыкали к опорной поверхности плавно (рис. 2.30, а, б);

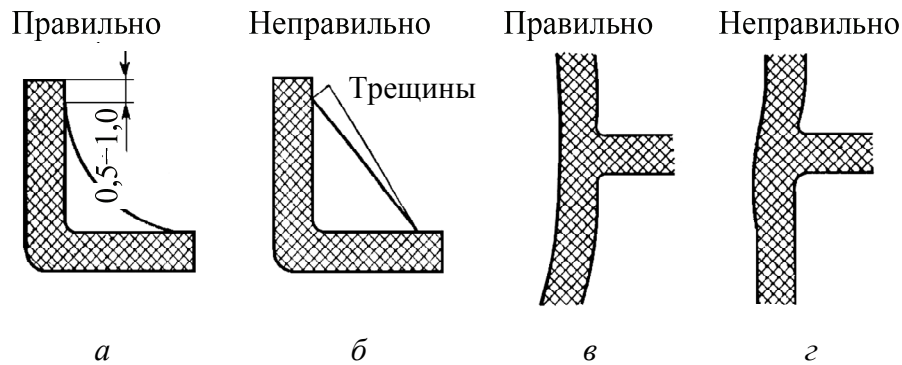


Рис. 2.30. Примеры оформления ребер жесткости

- ребра жесткости рекомендуется располагать на прямых участках элементов детали (рис. 2.30, в, г);
- необходимо стремиться к диагональному или диаметральному расположению ребер жесткости. Предпочтение таким ребрам следует отдавать и по технологическим соображениям, так как при производстве деталей значительно уменьшается коробление стенок и днищ (рис. 2.29);
- при сопряжении ребристых деталей типа плит рекомендуется располагать ребра в шахматном порядке, избегая крестообразных сопряжений, дающих значительные местные скопления массы (рис. 2.31);

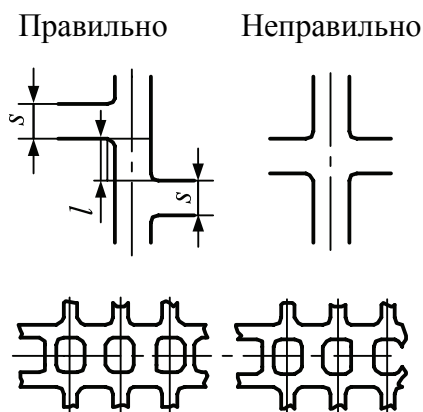


Рис. 2.31. Расположение ребер жесткости на деталях типа плит:
 $L \geq 1,6 S$

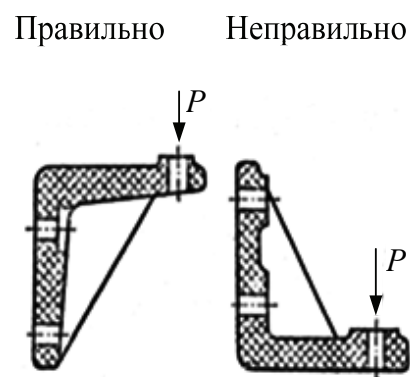


Рис. 2.32. Расположение ребер жесткости с учетом приложения нагрузки

- для уменьшения опасности возникновения напряжений в самом ребре жесткости форму его сечения сохраняют постоянной на всей длине;
- ребрам жесткости придают наибольший допустимый технологический уклон и располагают их в плоскости разреза формы или перпендикулярно к ней;
- исходя из конструктивных свойств пластмасс, ребра жесткости, если позволяет их конструкция, желательно располагать так, чтобы они работали на сжатие, а не на растяжение (рис. 2.32).

2.5.6. Оформление торцов изделий

Торцы деталей для упрочнения выполняют в виде буртиков разнообразных конструкций. Торцы предохраняют края изделия от поломки, предотвращают коробление, облегчают формообразование и извлечение детали из формы.

Примеры оформления торцов деталей показаны на рис. 2.33.

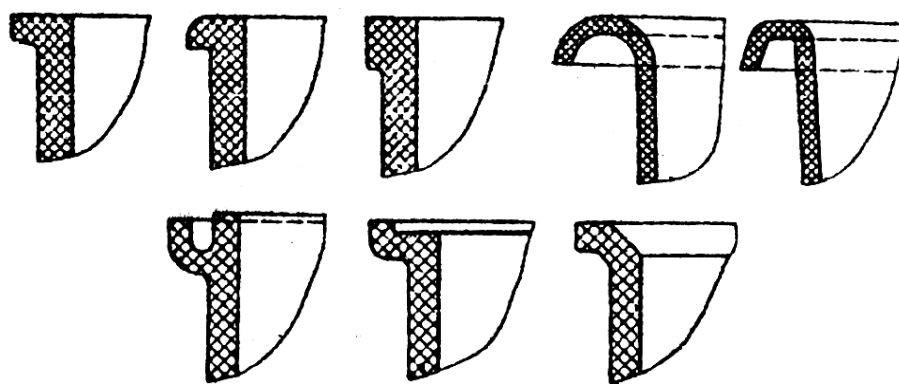


Рис. 2.33. Примеры оформления торцов деталей

Толщина буртиков во избежание увеличения времени выдержки не должна превышать 1,5–2 толщин стенки. Чрезмерное утолщение края приводит к образованию трещин и деформации изделия в результате неравномерной усадки при отверждении. Чрезмерное утонение края торца приводит к выкрашиванию тонких буртиков. Буртики необходимо делать непрерывными по всему контуру детали, так как в местах разрыва возникают напряжения, приводящие к трещинам.

2.6. Проектирование конструктивных элементов изделий

2.6.1. Проектирование отверстий

Конфигурации отверстий в деталях из пластмасс очень разнообразны, что обусловлено различным их назначением (технологические, для облегчения изделия и придания равностенности, установочные базы для арматуры, для крепления и т. д.).

Расположение отверстий на поверхности деталей, их разновидности (сквозные, глухие, ступенчатые), конфигурация (круглые, овальные, квадратные и т. п.) в значительной степени определяют величину внутренних напряжений в материале детали, усадку и точность размеров самих отверстий и межосевых расстояний.

При определении размеров и формы отверстий следует руководствоваться также степенью механической прочности формующего элемента оснастки.

Формованием можно оформлять отверстия сложной конфигурации, которые механической обработкой получить либо невозможно, либо очень трудно: однако нельзя получать отверстия, имеющие поднутрения, препятствующие извлечению формующего элемента.

В деталях из пластмасс следует применять отверстия наиболее простых форм (рис. 2.34). Цилиндрические отверстия наиболее просты в изготовлении, овальные отверстия – наиболее трудоемки.

Сквозные отверстия получать легче, чем глухие, так как знак, предназначенный для изготовления сквозного отверстия, может быть закреплен с двух сторон: знаки, формующие глухие отверстия, испытывают несколько большие нагрузки за счет осевых усилий.

Сквозные отверстия по характеру оформления могут быть односторонние, односторонние с протаскиванием формующей шпильки,

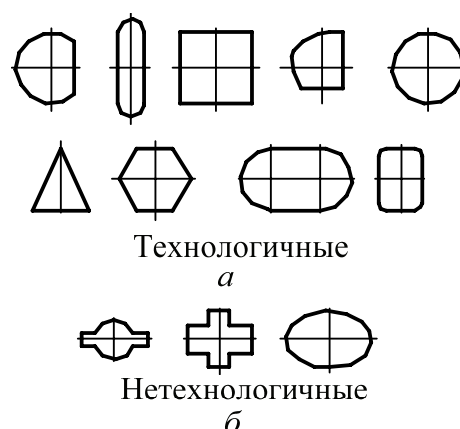


Рис. 2.34. Конфигурация отверстий

двухсторонние. Они отличаются точностью обеспечения прямолинейности оси отверстия при разной его глубине.

Наиболее распространены цилиндрические отверстия постоянного диаметра, но могут быть и ступенчатые, состоящие из двух цилиндрических отверстий разного диаметра. Цилиндрическое отверстие может переходить в коническое, а также иметь цилиндрическо-конические уступы (рис. 2.35).

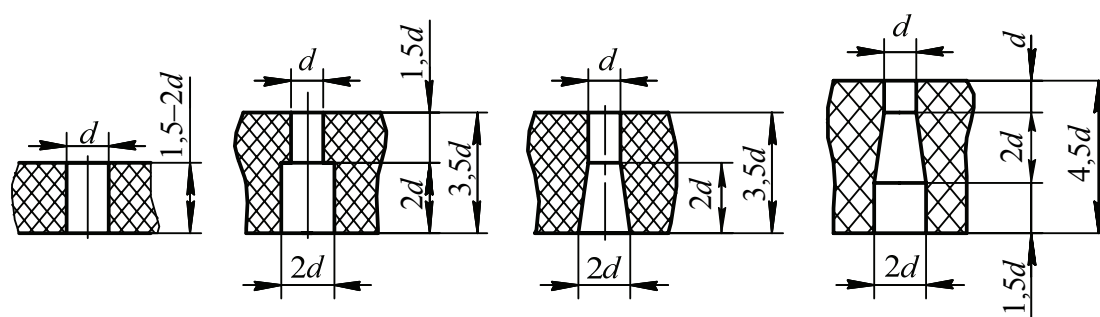


Рис. 2.35. Конфигурация сквозных отверстий

Направление осей отверстий, не совпадающее с направлением формования или съема изделия, нежелательно. Подобные отверстия в большинстве случаев можно получить, но они резко усложняют конструкцию формы и ее обслуживание.

При выборе положения отверстий в детали можно руководствоваться следующими рекомендациями.

Расстояние между соседними отверстиями или отверстием и краем изделия должно быть не менее диаметра отверстия.

При расположении отверстия близко от края изделия желательно, чтобы край изделия соответствовал форме примыкающего к нему отверстия; это способствует соблюдению равенстенности, уменьшению возможной деформации отверстия в результате неравномерной усадки стенок (рис. 2.36).

При расположении отверстия очень близко от края или от соседнего отверстия изделия при усадке его возможны растрескивание перемычки или ее деформация.

Если при формовании необходимо получить два или большее число смежных отверстий, то минимальное расстояние между ними, обеспечивающее изготовление детали без образования трещин или поломок, должно выполняться в соответствии с рис. 2.37.

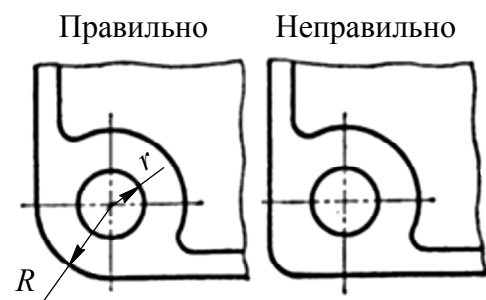


Рис. 2.36. Отверстия, расположенные у края изделия

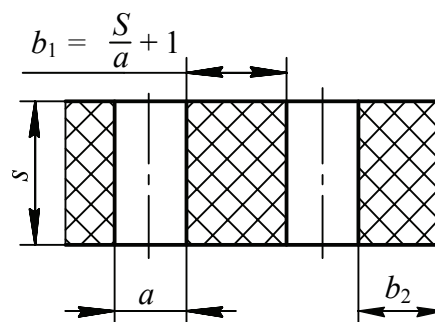


Рис. 2.37. Оформление смежных отверстий

На деталях с большим количеством мелких отверстий ($d = 1,5\text{--}2,0$ мм) перемычки должны быть максимальных размеров; это гарантирует качественное изготовление детали без сколов, расслоения или растрескивания материала.

Для предотвращения коробления, повышения прочности и точности изготовления деталей из термореактивных пластмасс размеры перемычек между отверстиями, между отверстием и краем детали, а также минимальные толщины дна глухих отверстий следует назначать в соответствии с табл. 2.5.

Таблица 2.5

Отношение диаметров отверстий к их глубине, величина перемычек и толщина дна глухих отверстий (см. рис. 2.37)

Диаметр отверстия D	Отношение диаметра отверстия D к его глубине h		Величина перемычки		Минимальная толщина дна глухих отверстий
	отверстия по краям детали	отверстия по центру детали	между отверстиями, b_1	от отверстия до края детали, b_2	
До 2,5 вкл.	2,0	3,0	0,5–0,7	1,00	1,0
2,5–3	2,3	3,5	0,8–1,0	1,25	1,0
3–4	2,5	3,8	0,8–1,0	1,50	1,2
4–5	2,8	4,2	1,0–1,2	1,75	1,5
5–6	3,0	4,8	1,0–1,2	2,00	1,5
6–8	3,4	5,0	1,2–1,5	2,25	2,0
8–10	3,8	5,5	1,2–1,8	2,75	2,5
10–12	4,2	6,0	2,0–2,2	3,25	2,5
12–14	4,6	6,5	2,2–2,5	3,75	3,0
14–18	5,0	7,0	2,5–3,0	4,00	3,0
18–30	—	—	4,0	4,00	4,0
30–50	—	—	5,0	5,00	5,0

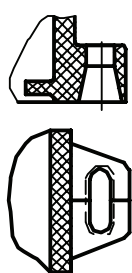


Рис. 2.38.
Компенсирующие
отверстия

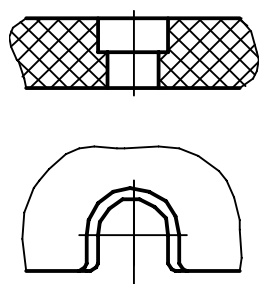


Рис. 2.39.
Пазы

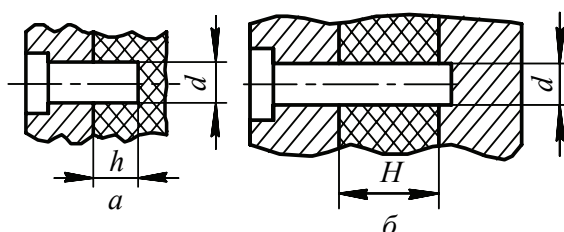


Рис. 2.40. Конструкция знаков
для глухих (а) и сквозных (б)
отверстий на боковых поверхностях изделий

Для компенсации изменения межосевых расстояний из-за температурных и усадочных деформаций деталей (особенно больших размеров) рекомендуется применять отверстия, показанные на рис. 2.38.

Диаметры отверстий выбирают по ГОСТ 6636–79, так как ограничение применяемых линейных размеров создает предпосылки для сокращения номенклатуры изделий и их унификации.

Диаметры сквозных отверстий для болтов, винтов, шпилек и заклепок, устанавливаемых с зазорами в соединяемые детали, регламентированы ГОСТ 11284–75. В приложении к ГОСТ 11284–75 приведены рекомендации по выбору рядов сквозных отверстий.

Отверстия, при размещении их по краям изделия на меньшем расстоянии в отличие от приведенных в табл. 2.5, заменяют пазами (рис. 2.38, рис. 2.39).

Оптимальные параметры отверстий на боковых поверхностях в зависимости от способа изготовления изделия и характера закрепления знаков в форме приведены на рис. 2.40 и в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Соотношения глубины отверстия от ее диаметра

Диаметр отверстия, мм	Компрессионное прессование		Литьевое прессование и литье под давлением	
	консольное закрепление, h/d	двухстороннее закрепление, H/d	консольное закрепление, h/d	двухстороннее закрепление, H/d
До 2 вкл.	1,0–1,2	4,0	2,5	5
2–4	1,5	5,0	3,0	7
4–6	1,8	6,0	3,5–4,0	8
6–8	2,0	6,5	4,5	9
8–10	2,5	7,0	5,5	10

При проектировании отверстий на боковой поверхности изделий, исходя из соотношений глубины и диаметра, которые превышают значения, приведенные в табл. 2.6, в конструкции изделий предусматривают технологические отверстия для опорных знаков (рис. 2.41).

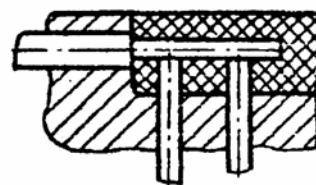


Рис. 2.41. Опорные знаки

Частичное оформление отверстия во время формования изделия в форме с последующим досверливанием применяется в случаях когда: а) отношение глубины отверстия к ее диаметру превышает допустимые значения, а ступенчатое оформление отверстия невозможно по конструктивным соображениям; б) конструкция изделия усложняется или делает невозможным раскрытие формы. В этом случае в изделии оформляют разметочные отверстия для удобства последующего досверливания (рис. 2.42); по конструктивным соображениям предусматривается применение изделия в различных сборках. В этом случае отверстия досверливают в соответствии с требованиями конкретной сборки.

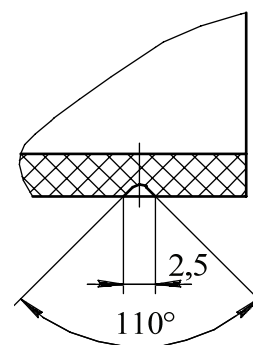


Рис. 2.42. Разметочные отверстия

2.6.2. Проектирование резьбы

Все большее распространение получают пластмассы в качестве материала для изготовления крепежных деталей, особенно гаек. Пластмассовые болты имеют сравнительно невысокую прочность и могут применяться лишь в малонагруженных соединениях. Крепежные детали изготавливают из различных материалов: фенопласта, монолита, волокнита, капрона, полипропилена, поликарбоната и др.

При определении основных конструктивных параметров резьбовых деталей надо учитывать следующее:

1) нагрузка по виткам резьбы (рис. 2.43) пластмассовых деталей распределяется более равномерно ввиду их большой упругости. В результате, несмотря на низкие величины допускаемых напряжений, резьбовые соединения характеризуются довольно высокой прочностью на срез (рис. 2.44).

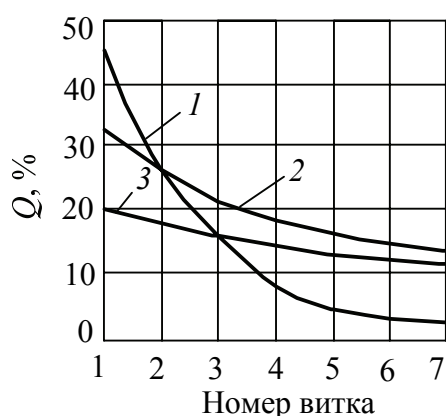


Рис. 2.43. Кривые распределения нагрузки по виткам резьбы:
1 – для стальной гайки;
2 – для гайки из реактопластов;
3 – для гайки из термопластов

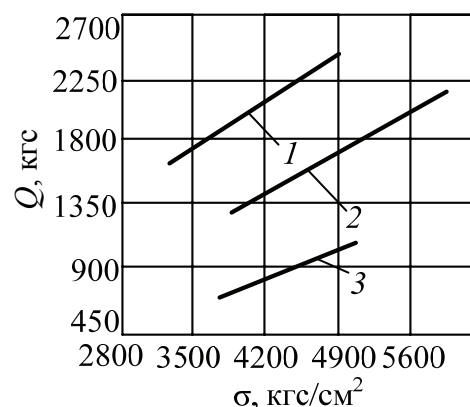


Рис. 2.44. Зависимость срезывающего усилия, выдерживаемого пластмассовым резьбовым соединением (болт стальной, гайка полиамидная), от растягивающих напряжений, получаемых затяжкой соединения:
1 – Ø 10 мм; 2 – Ø 2–8 мм; 3 – Ø 3–6 мм

2) прочность стенки пластмассовой гайки обычно ниже прочности ее витков на срез и значительно ниже прочности стального болта на разрыв.

У металлических резьбовых соединений, наоборот, наименее прочная деталь соединения – болт. Поэтому при проектировании резьбовых соединений пластмассовой гайки и металлического болта необходимо рассчитывать гайку с учетом напряжений, возникающих при эксплуатации соединения в ее стенке. Это можно сделать при использовании следующих соотношений для наиболее напряженной верхней точки основания первого витка со стороны приложения нагрузки (рис. 2.45):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\theta} = P_{z_i} \frac{\omega^2 + 1}{\omega^2 - 1}; \quad P_{z_i} = \frac{Q \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2} - \rho)}{k \pi d_0 S}; \quad \sigma_p = \frac{Q \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2} - \rho)}{\pi d_0 S}; \\ \omega = \frac{D}{d_0}; \quad \sigma_z = \frac{4(Q - Q_1)}{\pi(D^2 - d_0^2)}; \quad \tau_{cp} = \frac{Q_1}{\pi d_0 t}, \end{array} \right. \quad (2.14)$$

где σ_{θ} , σ_p , σ_z и τ_{cp} – распорные, радиально-сжимающие, осевые сжимающие и касательные напряжения среза в рассматриваемой точке резьбы гайки; P_{z_i} – расчетное усилие для i -го витка; Q , Q_1 – общая осевая нагрузка испытываемая гайкой, и нагрузка на первый виток (Q_1 может быть посчитана с использованием рис. 2.43); ρ – угол трения,

равный $\arctg f$ (f – коэффициент трения по поверхности контакта винтов гайки и болта; k – коэффициент приведения радиального давления, неравномерно распределенного по длине свинчивания, к расчетному давлению, равномерно распределенному по длине свинчивания болта с гайкой (рекомендуемые значения коэффициента приведены в табл. 2.7); D , d_0 – наружный и внутренний диаметры гайки; t – толщина стенки гайки; S и α – шаг и угол профиля резьбы (для основной метрической резьбы $\alpha = 60^\circ$); так как обычно $f = 0,15\text{--}0,20$, то $\rho = 8\text{--}9$).

Таблица 2.7

**Значения коэффициента приведения радиального давления
в резьбовом соединении**

Число витков гайки	Значение k для гаек	
	из реактопластов	из термопластов
1–4	z	$z + 4$
5–6	$z + 1$	$z + 2$
7–8	$z + 0,5$	$z + 1$
9–10	z	$z + 0,5$
11–12	$z - 1$	z
13	12	12

Работоспособность пластмассовой гайки можно оценивать по энергетической теории прочности, если гайка изготовлена из термопластов, и по первой теории прочности, если гайка изготовлена из реактопластов. В последнем случае можно использовать также критерии прочности, разработанные К. Н. Каном, для получения более точных результатов.

При конструировании пластмассовых резьбовых соединений надо учитывать следующие рекомендации:

1) оптимальное отношение наружного диаметра гайки к диаметру резьбы D / d_0 должно быть 2,25–2,50 для резьб до М18 и 2,00–2,25 для резьб от М20 до М42;

2) оптимальное число витков с основной метрической резьбой пластмассовых гаек должно быть: $z = 8\text{--}10$

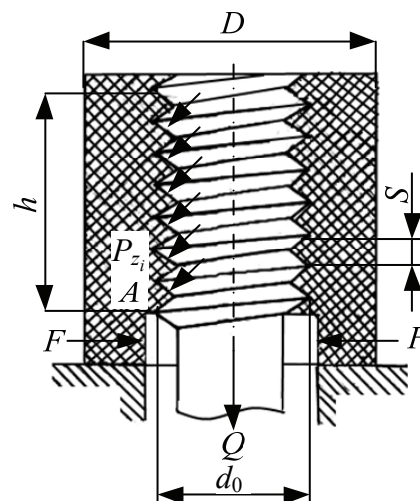


Рис. 2.45. Расчетная схема для определения основных конструктивных параметров пластмассовых резьбовых соединений

при $D/d_0 = 1,5$; $z = 10-12$ при $D/d_0 = 1,5-2,0$; $z = 12-13$ при $D/d_0 = 2,0-2,5$;

3) оптимальным профилем пластмассовых резьб является профиль, срезанный на 0,45 высоты от вершины остроугольного профиля и закругленный по вершинам выступов;

4) оптимальные значения шага резьбы находятся в пределах 1,5–3,0 мм.

Иногда пластмассовые резьбовые соединения образуются с использованием запрессованных или ввинченных в пластмассовую деталь металлических втулок, имеющих внутреннюю резьбу для винта. Данные типы соединения представляют частный случай рассмотренных типов, поэтому приведенные рекомендации могут быть использованы при их расчете.

Резьбы в пластмассовых изделиях получают тремя основными способами: непосредственно при формовании изделия; механической обработкой отдельных элементов изделия; вставкой металлических частей, имеющих резьбы, в изделия. На деталях из пластмасс можно получать наружную и внутреннюю резьбу различного профиля (рис. 2.46): треугольную (а), прямоугольную (б), трапециевальную (в), упорную (г), круглую (д).

Применение резьб с особо крупными шагами допускается для деталей из металлов, сопрягаемых с деталями из пластмасс.

Шаг резьбы выбирают в соответствии с ГОСТ 11709–71.

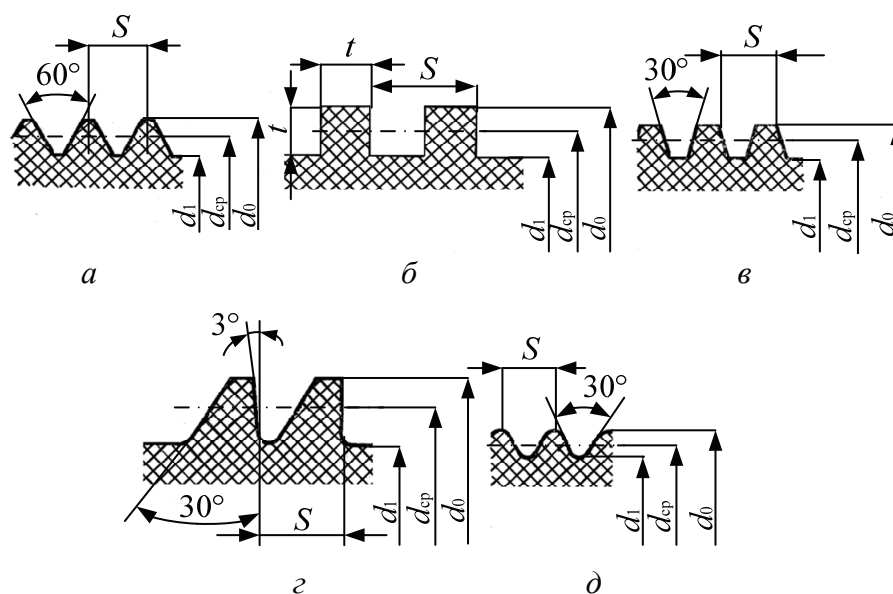


Рис. 2.46. Профили резьбы на пластмассовых изделиях

Для термореактивных материалов с порошкообразным наполнителем наиболее прочной является резьба с шагом 1,5 мм. Резьбы с шагом менее 1,5 мм для натруженных соединений не рекомендуются, так как вследствие переобогащения витков такой резьбы смолой они имеют меньшую прочность на срез.

Из термопластичных материалов можно получать резьбу с любым шагом.

Наиболее экономичным и производительным способом получения резьбы является прямое формование.

Не рекомендуется изготавливать прессованием резьбы, шаг которых менее 0,7 мм, так как получить требуемую шероховатость поверхности формирующих элементов со столь мелким шагом очень трудно.

Преимущество резьб, получаемых механической обработкой, заключается в большей их точности по сравнению с формованными. Такие резьбы рекомендуется применять:

- при повышенных требованиях к точности диаметральных или координатных размеров (при наличии нескольких резьбовых сопрягающихся элементов);
- низкой механической прочности формирующего резьбу элемента пресс-формы (например, если резьбовые знаки имеют диаметр менее 2,5–3,0 мм);
- получении наружной резьбы диаметром менее 10–12 мм и внутренней диаметром менее 4 мм;
- получении мелких резьб с шагом 0,5 мм и менее.

Если прочность резьбы должна быть высокой или деталь необходимо часто отвинчивать, резьбу следует нарезать на армирующих элементах. Длина резьбы должна быть меньше длины арматуры.

При конструировании изделий из пластмасс с формованной резьбой следует учитывать, что прочность пластмасс значительно ниже прочности металлов. Поэтому резьбу изделий не следует подвергать значительным усилиям.

При расчете диаметра резьбы необходимо учитывать усадку материала и оставлять зазор между винтом и гайкой немного больше, чем для изделий из металла.

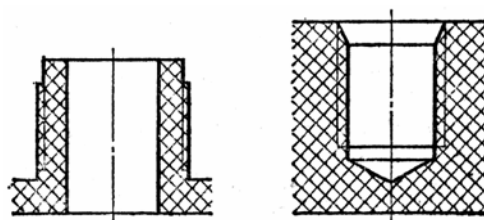


Рис. 2.47. Конструкция наружной и внутренней формовой резьбы

Для формуемых резьб всех видов обязательно наличие фаски или кольцевой выточки на конце резьбы (рис. 2.47). Величина фаски зависит от шага резьбы и регламентирована ГОСТ 10549–63. Для наружных резьб наличие фаски на их заходной части нежелательно, так как это затрудняет изготовление формирующего элемента.

При оформлении резьбы в тонкостенных элементах изделий и если по конструктивным соображениям наличие фаски на конце резьбы нежелательно, следует предусматривать выточку для сбегу и выхода резьбы. Размер выточки берут (0,5–1,0) высоты.

Резьбы могут быть одно- и многоходовые с различным числом витков. Желательно, чтобы число витков резьбы было равно 4, 8, 16.

Соотношение диаметров и длин рабочей части резьбовых знаков (глубина формования) в случаях, когда не требуются глубокие резьбовые отверстия, принимают равным 1,5–2,0 диаметрам резьбового знака.

Размеры шага резьбы, получаемой прессованием или литьем, могут иметь значительные отклонения в основном за счет колебания величины усадки и наличия погрешности в изготовлении формирующего элемента. Влияние этих факторов учитывают только в осевом направлении, ограничивая длину формируемой резьбы.

Минимальные размеры перемычек для резьбовых отверстий и толщины дна при глухой резьбе приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Минимальные размеры перемычек между резьбовыми отверстиями и минимальные толщины дна глухих резьбовых отверстий

Эскиз	Диаметр резьбы	b_1	b_2	b
	До 3 вкл.	1,3	2,0	2,0
	3–6	2,0	2,5	3,0
	6–10	2,5	3,0	3,75
	10–18	3,75	4,3	5,0

В изделиях с последовательно расположенными резьбами разных диаметров (рис. 2.48) рекомендуется делать одинаковый шаг резьб, что значительно упрощает конструкцию пресс-формы.

В технически обоснованных случаях допускается наличие в изделии последовательно расположенной резьбы разного шага. В этом

случае внутренняя резьба оформляется комбинированным резьбовым знаком, а наружная – за счет применения разъединяемых матриц.

Получаемую механической обработкой резьбу нарезают метчиком из твердосплавного материала или самонарезающими гайками в предварительно отформованных отверстиях. Этот метод применяют для получения наружной резьбы небольшого диаметра (обычно менее 10–12 мм), если получение ее прессованием связано с большими трудностями, и внутренней – диаметром менее 4 мм.

Нарезание резьбы является единственным способом изготовления резьбовых поверхностей деталей из слоистых пластиков. В изделиях такого типа не следует проектировать резьбу параллельно слоям наполнителя.

Следует предусматривать во избежание сколов у кромок зенковку отверстий, нарезаемых метчиком.

Допускаемая длина скручивания должна соответствовать приведенной в ГОСТ 11709–81. Оформление внутренней резьбы в изделиях из пластмасс производят резьбовыми знаками. Для упрочнения резьбы начало и конец ее на резьбовом знаке оформляют до полного профиля и ограничивают участками цилиндрической поверхности m и a . Зависимость длины участка цилиндрической поверхности m от шага резьбы t представлена в табл. 2.9.

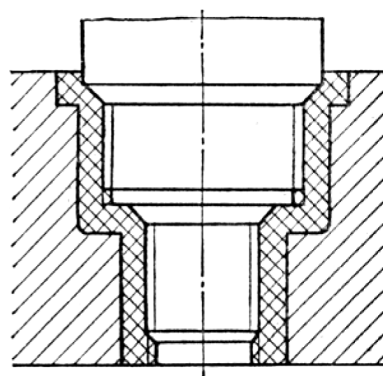
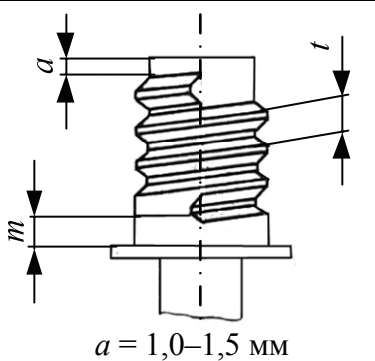


Рис. 2.48. Пример изделия с последовательно расположенными резьбами

Таблица 2.9

Зависимость длины участка цилиндрической поверхности

	Шаг резьбы t , мм	Длина участка m , мм
	0,50	0,50–1,00
	0,75	0,75–1,50
	1,00	1,00–2,00
	1,25	1,10–2,20
	1,50	1,25–2,50
	2,00	1,50–3,00

$a = 1,0–1,5$ мм

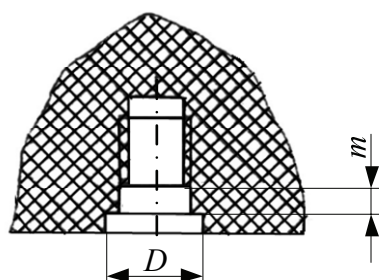


Рис. 2.49. Участки цилиндрической поверхности на резьбовых отверстиях

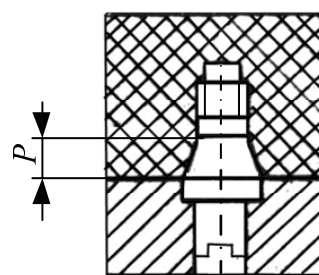


Рис. 2.50. Выход резьбы конусной поверхностью

Участки цилиндрической поверхности должны быть предусмотрены и во впадинах, когда диаметр выхода резьбы D больше диаметра резьбы (рис. 2.49). При значительной глубине выхода резьбы ее цилиндрическую поверхность необходимо заменить конусом P для облегчения выкручивания резьбового знака после оформления изделия (рис. 2.50).

Полное оформление резьбы в сквозных отверстиях может быть достигнуто только с одной стороны. С другой стороны необходимо удалить последнюю нить растачиванием (рис. 2.51, а) или путем снятия фаски (рис. 2.51, б).

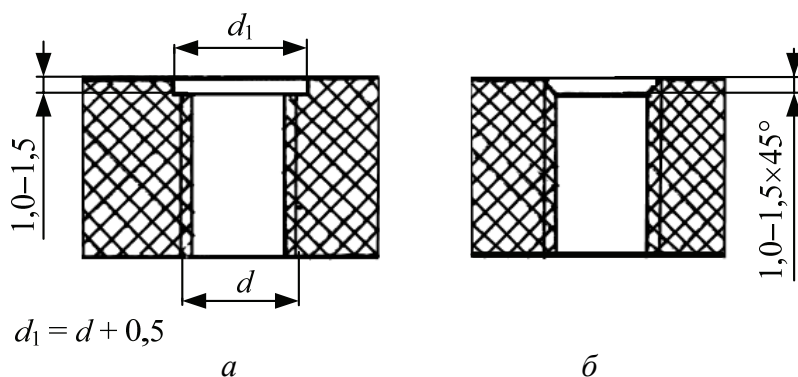


Рис. 2.51. Схема удаления оставшегося материала при оформлении сквозных резьбовых отверстий

Наружную резьбу в изделиях из пластмасс обычно оформляют резьбовыми кольцами. Для укрепления резьбы ее начало и конец оформляют до полного профиля и ограничивают участками цилиндрической поверхности d_1 и m_1 . Цилиндрическую поверхность d_1 выполняют длиной от 0,5 до 1 мм и диаметром, равным наружному диаметру резьбы; цилиндрическую поверхность m_1 – равной 1–2 шагам резьбы t_1 (рис. 2.52).

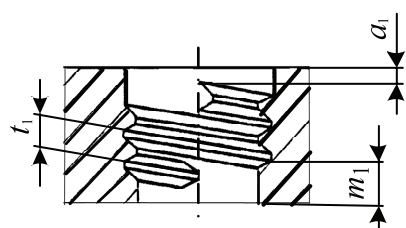


Рис. 2.52. Резбовое кольцо

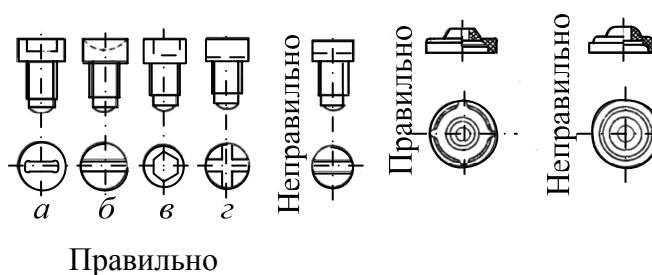
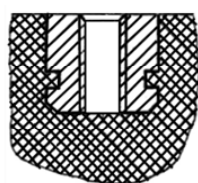
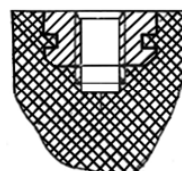


Рис. 2.53. Конструкция шлицев

При проектировании изделий с резьбой необходимо обеспечить возможность их свинчивания со знака или выкручивания из резьбового кольца после формования. Для этого на изделиях предусматривают шлицы, рифленую поверхность, отверстия, выступы и т. д. (рис. 2.53).



Правильно



Неправильно

Рис. 2.54. Резбовые втулки

При необходимости частой разборки резьбовых соединений резьбу в изделиях из пластмасс выполняют запрессовкой резьбовых втулок. Длина резьбы на армированном изделии не должна превышать длину арматуры (рис. 2.54).

2.6.3. Накатка и рифление

Накатку и рифление осуществляют в процессе формообразования и обычно на наружных поверхностях деталей. Рифленные поверхности применяют для удобства вращения от руки, с декоративной целью, а в некоторых случаях по технологическим причинам, например для фиксации.

Для обеспечения простоты извлечения детали из формы (без применения отъемных частей) накатку и рифление выполняют прямыми

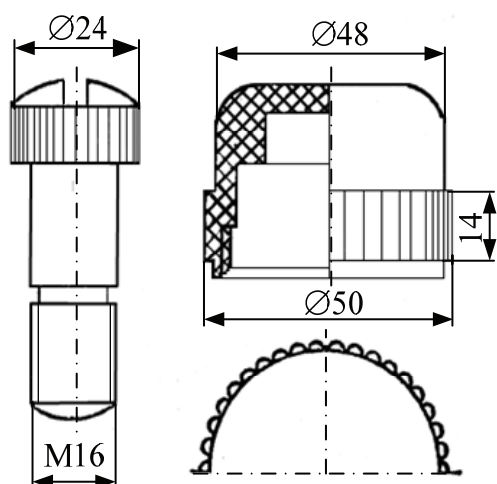


Рис. 2.55. Изделия с накаткой и рифлением

ребрами, параллельными направлению выталкивания детали из формы (рис. 2.55).

Наиболее распространенные виды рифленой поверхности приведены в табл. 2.10

При выполнении рифленых поверхностей следует придерживаться также следующих рекомендаций.

На конических и цилиндрических поверхностях недопустимы винтовые или сетчатые рифления.

Ширина ребер должна быть не менее 0,3–0,5 мм, а высота возвышения над базовой поверхностью не должна превышать их ширину.

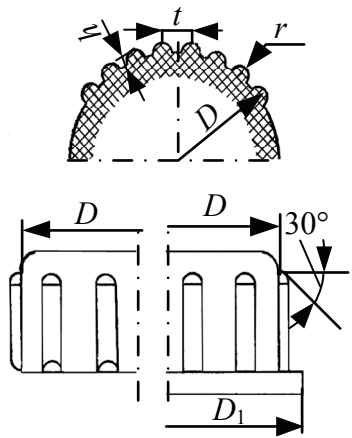
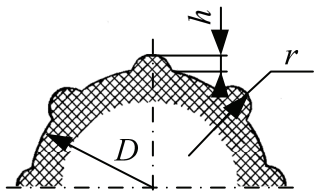
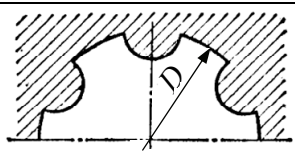
При рифлении цилиндрической поверхности или поверхности, имеющей съемный уклон, ребра рифления могут иметь съемные уклоны, превышающие уклон базовой поверхности.

Таблица 2.10

Виды и способы выполнения рифлений

Эскиз	Размеры элементов, мм				Назначение и особенности выполнения
	Рифление поверхности матрицы накаткой роликом				
	t	1,0	1,5	2,0	Для навинчиваемых деталей и ручек управления
	h	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–0,8	Торец рифленой поверхности, соответствующий разьему, выполняют фаской или переходом на больший диаметр
	α	60 или 90°		–	
	H	3h		–	
	l	1,5		–	$D_1 = D + 2h + 0,5$ мм

Окончание табл. 2.10

Эскиз	Размеры элементов, мм			Назначение и особенности выполнения		
	Рифление поверхности матрицы сверлением			Для навинчиваемых деталей и ручек управления $D_1 = D + 2h + 2$ мм		
	D	От 10 до 22	Свыше 22 до 50			
	r	1,0	1,5			
	h	0,75	1,2			
	t	3–4	5–6			
	Рифление поверхности матрицы расточкой			Для навинчиваемых деталей		
	D	От 10 до 22	Свыше 22 до 40		Свыше 40 до 60	Свыше 60 до 80
	r	3	4		6	10
	h	1,5	2,0		3,0	5,0
	Кол-во выступов	6	6		8	8
	Рифление поверхности матрицы вдавливанием стального эталона			Для ручек управления. Выполняют мощными прессами при удельном давлении 20–30 тс/см ³		

На цилиндрических и конических поверхностях не следует делать сквозные ребра (рис. 2.56, а), так как они сложны в изготовлении, легко повреждаются при эксплуатации, а также ребра, занимающие среднюю часть поверхности (рис. 2.56, б); такие ребра можно получить только в разборных матрицах.

Наиболее целесообразно на цилиндрических и конических наружных поверхностях применять глухие ребра рифления (рис. 2.57).

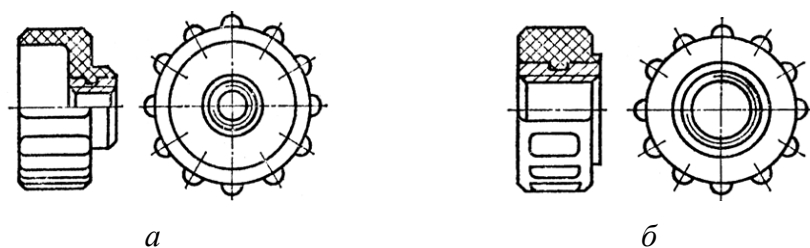


Рис. 2.56. Пример нетехнологичного расположения ребер

Для плоских поверхностей применяют прямое (параллельное) и сетчатое рифление полукруглого или треугольного сечения. При сетчатом рифлении взаимное пересечение ребер должно быть в пределах 60–90 (рис. 2.58).

Рифление наружных плоских поверхностей рекомендуется выполнять так, чтобы ребра рифления были заподлицо с плоскостью изделия или несколько ниже (рис. 2.59).

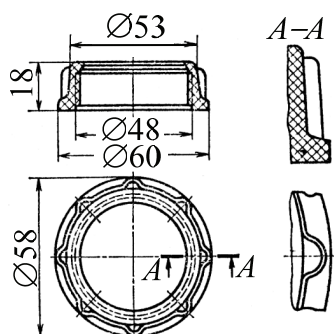


Рис. 2.57. Пример технологичного расположения ребер

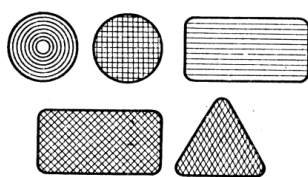


Рис. 2.58. Примеры рифления плоских поверхностей

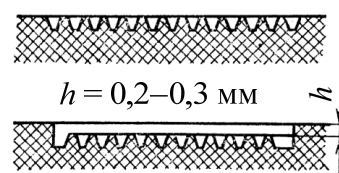


Рис. 2.59. Примеры сечений рифленых наружных плоских поверхностей

Следует избегать рифлений, выступающих над уровнем плоскости изделия, так как, несмотря на определенные эксплуатационные преимущества перед предыдущими, они служат препятствием при зачистке изделия.

2.6.4. Надписи на деталях

Надписи (буквы, цифры, знаки) на деталях получают обычно в процессе формования. Этот способ наиболее прост и дешев, но в некоторых случаях надписи наносят после изготовления детали гравировкой, печатанием или другими способами.

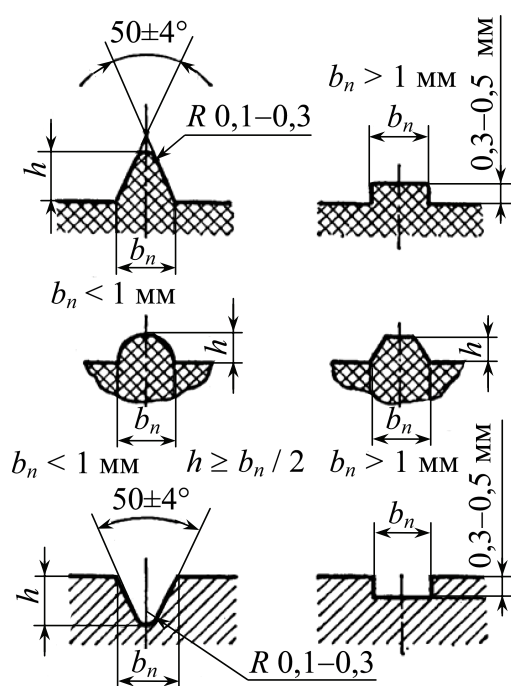


Рис. 2.60. Формы сечений шрифтов

При изготовлении пресс-формы резанием надписи на деталях следует делать выпуклыми, а в формах, получаемых холодным выдавливанием, — углубленными. Надписи, полученные такими способами, отличаются прочностью и четкостью изображения.

При оформлении надписей следует:

- наименьшую их высоту над поверхностью изделия устанавливать в пределах 0,3–0,5 мм;
- буквы высотой 0,75 мм для предотвращения выкрашивания выполняют шире у основания, чем у вершины;

- для защиты выпуклого шрифта от повреждений в процессе эксплуатации изделия и удобства снятия возможного облоя надписи помещают в незначительные углубления на поверхности изделия. Углубления должны быть такими, чтобы надписи не выступали за пределы наружной поверхности или были немного ниже ее; при незначительной толщине изделия, когда базовая поверхность надписи не может быть углублена в изделие, предусматривают специальный защитный ободок высотой, несколько большей или равной высоте шрифта (рис. 2.60);

- надписи не должны находиться на линии разъема пресс-формы или в месте облоя. Выпуклые надписи на боковых стенках допускаются в том случае, если стенки имеют конусность, которая обеспечить беспрепятственное извлечение изделия из пресс-формы при данной выпуклости шрифта (рис. 2.61).

Формы сечений выпуклого и заглубленного шрифтов показаны на рис. 2.62.

Для получения на изделии надписи, которая отличается цветом, применяют метод армирования. При этом методе в особой пресс-форме получают арматуру (цифры, знаки, буквы).

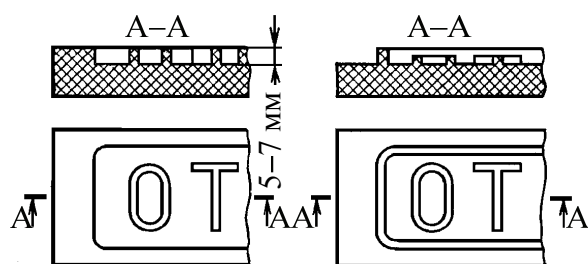


Рис. 2.61. Пример оформления надписи на изделии

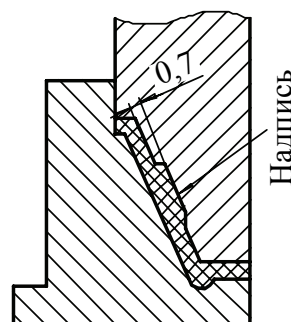


Рис. 2.62. Нанесение надписи на боковую стенку изделия

Затем во второй пресс-форме арматуру заливают пластмассой другого цвета, причем надпись должна быть выполнена из пластмассы, имеющей более высокую температуру плавления или обладающей более высокой теплостойкостью по сравнению с пластмассой изделия. Если оформление надписей во время формования изделия в пресс-форме невозможно, тогда надписи наносят на готовое изделие методом гравировки.

Наиболее часто на деталях из пластмасс применяют шрифты по ГОСТ 2930–62.

Сложные надписи и рисунки выполняют на вкладышах пресс-форм. При этом на чертеже изделия указывают форму вкладыша, которая соответствует форме рисунка. Способ нанесения надписей красками применяют в том случае, что и способ гравировки. Когда при нанесении надписей красками используются трафареты, то на изделии необходимо предусмотреть специальные фиксаторы для установки трафаретов. Закрашенные надписи получают путем заполнения краской сделанных ранее формованием или гравировкой углублений, ширина которых должна быть не больше 0,5 мм (рис. 2.63). Краски для нанесения надписей выбирают в соответствии с материалом, из которого изготовлена деталь.

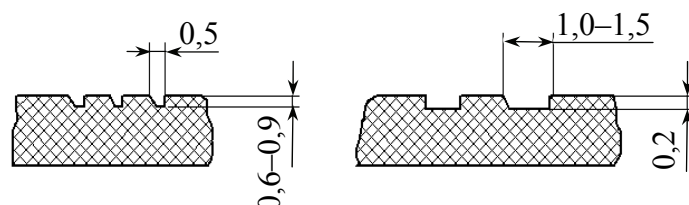


Рис. 2.63. Параметры углублений для нанесения краски

На изделиях из термопластичных пластмасс надписи могут быть выполнены оттиском горячим пуансоном, клеймением краской или через ленту пишущей машинки.

Объемность надписи на изделиях из прозрачных термопластичных пластмасс достигается путем покрытия выдавленных на тыльной стороне изделия букв медью, хромом, серебром, золотом, бронзой или цветными красками.

Вогнутый шрифт на изделии можно получить в том случае, когда оформляющая полость матрицы изготавливается холодным оттиском с помощью мастер-пуансона, на котором предварительно выгравирован шрифт.

2.7. Армирование изделий из пластмасс

Пластмассы, обладающие рядом ценных свойств, не лишены, однако, и недостатков. Так, например, они характеризуются низкой контактной прочностью, очень малым сопротивлением сдвигу (срезу), низкими электро- и теплопроводностью; они немагнитны, теряют прочность при повышенных температурах, имеют повышенную склонность к ползучести при длительных нагрузках и т. д.

Поэтому, если необходимо получить детали с такими эксплуатационными свойствами, которыми не обладают пластмассы, их приходится конструировать с различными элементами из других материалов, называемых арматурой.

Арматуру применяют также для увеличения жесткости и точности деталей. Она препятствует усадке пластмассы, поскольку уменьшает ее величину и пределы колебания.

Арматурой служат различные стержни, корпуса или охватывающие кольца детали (в этом случае, находясь снаружи детали, арматура не служит препятствием для усадки), фиксирующие или установочные стержни и т. д. Применение арматуры в этих случаях способствует возможности легкой взаимозаменяемости изделий.

Арматуру, применяемую для увеличения механической прочности, обычно располагают внутри детали. В процессе эксплуатации изделия она воспринимает основные нагрузки. Пластмасса выпол-

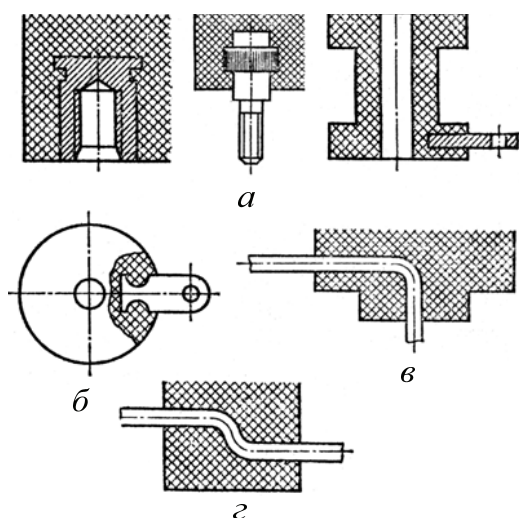


Рис. 2.64. Расположение арматуры в изделии

няет в этом случае роль облицовки.

По расположению в изделии различают арматуру: глухую (рис. 2.64, а), одностороннюю (рис. 2.64, б), угловую (рис. 2.64, в), сквозную (рис. 2.64, г).

Вместе с тем армированным конструкциям свойственны некоторые недостатки:

- в материале детали из-за различных коэффициентов расширения пластмассы и арматуры возможно появление трещин;
- увеличивается вероятность выхода из строя детали во время эксплуатации, особенно при резкой перемене температур из-за наличия микротрещин в пластмассе вокруг арматуры;
- возрастает брак из-за повреждений арматуры, неудачной ее установки в форме;
- увеличивается стоимость форм и усложняется их изготовление.

2.7.1. Требования к арматуре и ее расположению в изделии

Основные требования, которыми следует руководствоваться при проектировании армированных изделий, зависят от типа запрессовываемой арматуры.

Рекомендуемые соотношения размеров одного из видов втулочной арматуры приведены в табл. 2.11. Некоторые другие виды втулочной арматуры показаны на рис. 2.65.

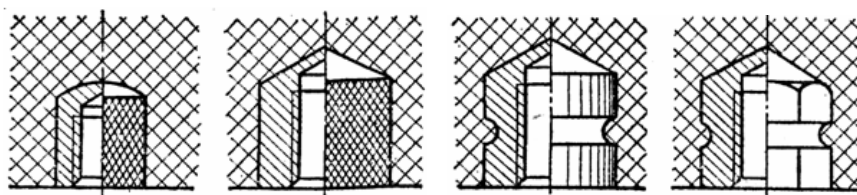
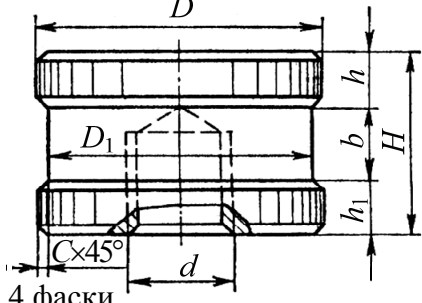


Рис. 2.65. Варианты крепления втулочной арматуры

Таблица 2.11

Рекомендуемые соотношения размеров втулочной арматуры

Эскиз	d	D	D_1	H	h	h_1	b	c
	M2	4	—	4	—	—	—	0,2
	M2,6	4,5	—	4,5	—	—	—	0,3
	M3	5	—	6	—	—	—	0,4
	M4	7	5,6	8	3,5	1,75	1,75	0,4
	M5	8	6,4	8	4	2	2	0,5
	M6	10	8	10	5	2,5	2,5	0,6

Втулочную арматуру рекомендуется применять с глухим нарезанным отверстием. Круглая и коническая головки содействуют скольжению пластмассы при формовании и уменьшению слоя пластмассы над арматурой.

Сквозное отверстие во втулочной нарезанной арматуре делать не рекомендуется, пластмасса может проникнуть в резьбу.

Некоторые варианты крепления стержневой (проволочной) арматуры показаны на рис. 2.66. Шестигранная или квадратная головки обеспечивают хорошее ее крепление, но грани их могут вызвать трещины, поэтому вокруг арматуры необходимо иметь пластический материал толщиной не менее $2/5$ диаметра головки.

Стержневую арматуру закрепляют с помощью образуемых на ее концах различных отгибов, разрезов с отгибами и петель. Надежное крепление дает расплющивание арматуры. Длина расплющивания должна быть не менее 2–4 мм.

Плоскую листовую арматуру в зависимости от толщины крепят с помощью вырезов, отверстий, отгибов (рис. 2.67). Крепить с помощью отверстия следует при толщине арматуры более 1 мм; боковые вырезы глубиной 0,3–0,5 мм позволяют крепить арматуру толщиной до 1 мм.

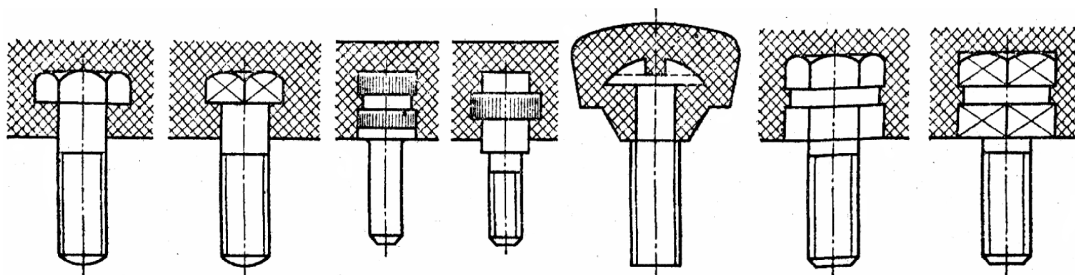


Рис. 2.66. Варианты крепления стержневой арматуры

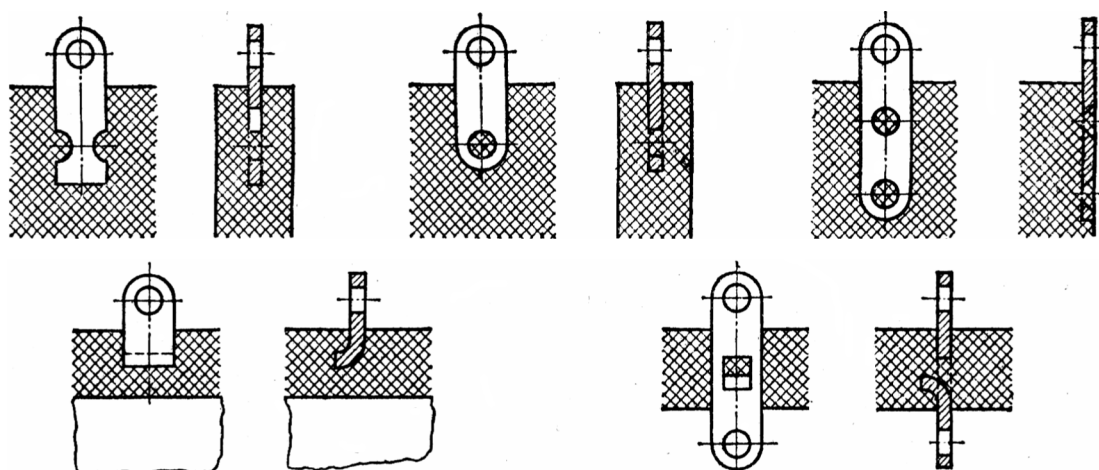


Рис. 2.67. Варианты крепления плоской листовой арматуры

При малой толщине сечения пластмассы невозможно применить отверстие или вырезы, рекомендуется согнутая арматура.

Кольцеобразную арматуру в основном применяют как основания к венцам зубчатых колес из пластмассы. Зубчатые венцы крепят к арматуре различными способами в зависимости от окружного усилия, угловой скорости колеса и других факторов. Для более надежного соединения зубчатого венца с основанием на поверхности последнего выполняют фигурные впадины или выступы. При этом поверхность основания, соединяющуюся непосредственно с пластмассовым венцом, подвергают грубой обработке (параметр шероховатости $Rz - 40 \div 320$ мкм).

Варианты крепления зубчатого венца к основанию показаны на рис. 2.68.

Варианты, показанные на рис. 2.68, *а* и *в*, применяют в передачах с малыми угловыми скоростями и незначительными окружными усилиями. Сцепление венца с основанием здесь осуществляется за счет

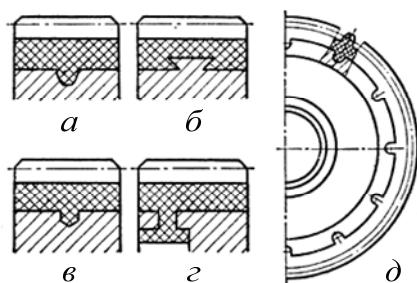


Рис. 2.68. Варианты крепления кольцеобразной арматуры к венцу зубчатого колеса

канавки радиусом 5–8 мм (рис. 2.68, *а*) или ряда глухих отверстий диаметром 4–6 мм и глубиной 5–8 мм, расположенных по наружному диаметру основания на расстоянии 20–25 мм одно от другого (рис. 2.68, *в*).

Конструкции на рис. 2.68, *б* и *г* применяют в передачах с повышенными угловыми скоростями. В конструкции на рис. 2.68, *б* кольцевой фигурный выступ выполнен на наружном

диаметре основания. Вариант на рис. 2.68, *г* отличается внутренним пластмассовым венцом, который заливается через ряд отверстий диаметром 4–6 мм, расположенных на расстоянии 25–30 мм одно от другого.

Для зубчатых колес, работающих в особо тяжелых условиях, рекомендуется крепление (рис. 2.68, *д*), в котором отверстия диаметром 8–10 мм сверлят по наружному периметру основания. Центры отверстий располагают на расстоянии (от наибольшего диаметра основания), не превышающем радиус отверстия.

В процессе формования пластмассовых деталей на арматуру действуют значительные усилия со стороны потоков пластмассы, поэтому арматуру необходимо надежно фиксировать в форме. Так, например, для фиксации втулочной арматуры используют гладкие или резьбовые отверстия диаметром не менее 2,5–3 мм и выступающие из пластмассы части арматуры. Выступ арматуры, используемый для фиксации, должен быть цилиндрической формы, высотой $h \geq 1$ мм (рис. 2.69) при точности изготовления не ниже 3-го класса. Фиксация арматуры выступающими из расплава элементами наиболее надежна. При этом уменьшается нагрузка на фиксирующие знаки формы.

Для предотвращения осевого смещения штифтовой и втулочной арматуры в процессе формования изделий рекомендуется предусматривать технологические отверстия под опорный знак (рис. 2.70).

В изделиях со штифтовой и стержневой арматурой при длине L , большей чем 2 диаметра арматуры, расположенной перпендикулярно оси формования, необходимо также предусматривать технологические отверстия для установки опорных знаков в форме (рис. 2.71).

Арматура, штампованная из листового материала, менее устойчива, препятствует течению материала в форме, воспринимает давление, коробится и прогибается, а иногда вырывается из посадочных гнезд. Поэтому штампованную арматуру следует располагать ребром к направлению потока материала.

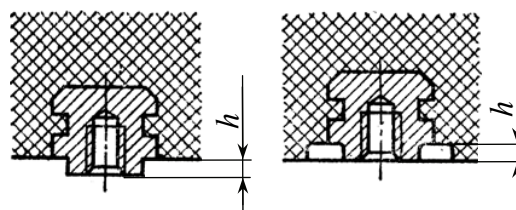


Рис. 2.69. Варианты крепления кольцеобразной арматуры к венцу зубчатого колеса

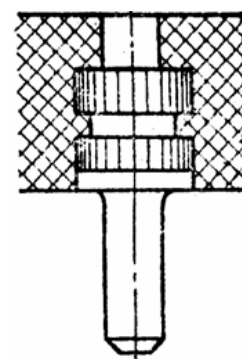


Рис. 2.70. Способ фиксации штифтовой арматуры

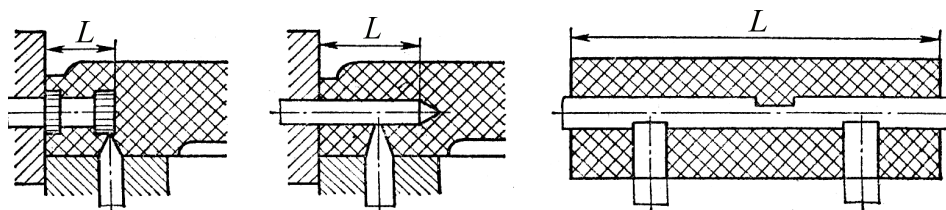


Рис. 2.71. Способы фиксации штифтовой и стержневой арматуры

В приливах или бобышках арматуру располагают так, чтобы высота ее превышала высоту прилива (рис. 2.72).

Поверхности арматуры, подлежащие запрессовке в пластмассу, должны обеспечивать качественное и надежное сцепление связующего (или клея) с металлом.

Запрессовываемые поверхности металлической арматуры для надежного сцепления с пластмассой обрабатывают шкуркой или подвергают пескоструйной обработке и тщательно обезжиривают. Если это оказывается недостаточным для обеспечения заданной прочности соединения, то на поверхность арматур наносят прямую или сетчатую накатку, рифление, резьбу, кольцевые канавки, отверстия, фрезеруют лыски или пазы.

Кольцевые канавки желательно располагать примерно посередине запрессовываемой части арматуры, ширина их должна быть достаточной для удержания арматуры в детали (не менее 0,5 мм). Диаметры кольцевых наплавов на арматуре $d_1 = (0,6-0,8) d$, где d — диаметр арматуры.

Накатку на арматуре не следует делать, если она не работает на проворачивание; в противном случае могут возникнуть трещины. Если арматура работает на проворачивание и в то же время расположена близко к стенке, то накатку целесообразно заменять одно-сторонней лыской. На торцевой поверхности арматуры, заделанной в пластмассу для уменьшения концентрации напряжений в наиболее нагруженной зоне материала, рекомендуется снимать фаску.

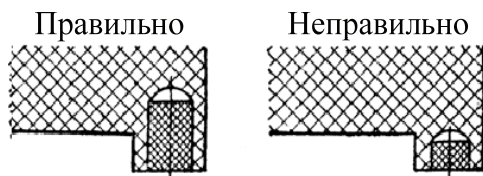


Рис. 2.72. Расположение арматуры в приливах и бобышках

Материалы пластмассового армированного изделия и арматуры выбирают с близкими коэффициентами линейного расширения. Коэффициенты линейного расширения для армирующих материалов в интервале 0–100°C указаны ниже.

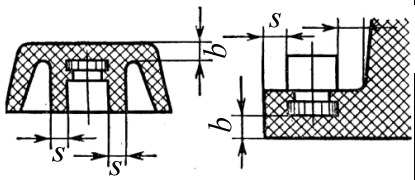
	$\alpha \cdot 10^6$
Стекло	0,5–3,2
Фарфор.....	3,4–4,1
Керамика	5,0–10,0
Стали конструкционные.....	10–12
Медь.....	16,5
Бронза	14,9–20,4
Латунь.....	17,0–21,2
Алюминиевые сплавы.....	19,5–24,5
Серебро.....	19,7

Большое значение имеют не только конструктивные особенности арматуры, но и ее размещение в изделии.

Толщина материала над арматурой должна быть не менее 2 мм (при диаметре арматуры до 5 мм) для предотвращения образования выпуклости на наружной стороне. Для арматуры большего диаметра толщина материала приведена в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Средняя толщина слоя пластмассы вокруг металлической арматуры для изделий из материалов со средней усадкой 0,8%

	Диаметр опрессо- вываемой арматуры	Толщина слоя пластмассы		
		между арматурой и стенкой, b_1	от арматуры до края изделия, S	над арматурой, b
	До 3 вкл.	1,5	2,0	2,0
	3–6	2,5	3,0	3,0
	6–10	3,5	4,5	4,0
	10–18	5,0	5,5	5,0
	18–30	6,0	7,0	6,0

Указанные в табл. 2.12 минимальные толщины слоя S пластмассы можно уменьшить примерно на 30% за счет применения арматуры с конусом (рис. 2.73).

При таких (по конструктивным соображениям) слоях пластмассы вокруг металлической арматуры следует использовать материалы, обладающие возможно меньшей усадкой и наиболее низким коэффициентом линейного расширения.

При проектировании изделия с несколькими армирующими деталями следует стремиться к более равномерному их распределению по изделию.

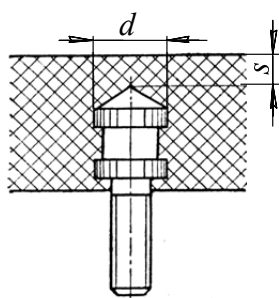


Рис. 2.73. Арматура с конусом

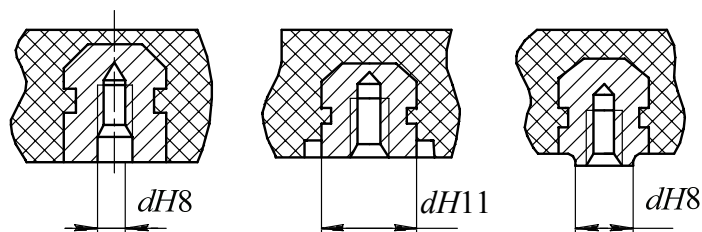


Рис. 2.74. Размещение арматуры в изделиях

Для обеспечения точной посадки арматуры в форме и предупреждения затекания пластмассы в зазор между арматурой и отверстием в форме посадочные места арматуры выполняют в основном по 8–11-му квалитетам (рис. 2.74)

Запрессовку арматуры в горячее изделие обычно применяют в случае больших размеров арматуры, при небольшой толщине слоя пластмассы вокруг опрессовываемой арматуры (от 35 до 50% диаметра арматуры), вызывающей опасения, что вследствие возникновения внутренних напряжений в результате усадки изделия его поверхность может растрескаться, а также при возникновении трудностей, связанных с закреплением или фиксацией арматуры в форме.

Этот способ дает вполне надежную связь арматуры с изделием, но используют его, как правило, при цилиндрической арматуре, так как это облегчает формование отверстия под арматуру в изделиях. При конструировании таких деталей размеры отверстий под запрессовку арматуры необходимо назначать с учетом усадки пластмассы, размеров вставок и необходимого натяга (табл. 2.13). Натяг создается за счет усадки пластмассы при охлаждении детали с арматурой. Кроме этого натяга для мелких металлических вставок требуется дополнительный натяг порядка 0,025–0,050 мм, а для крупных – порядка 50% величины усадки.

В основном закрепление арматуры способом вклеивания используют для армирования тонкостенных и малогабаритных изделий, а также для закрепления тонкой ажурной металлической, керамической или стеклянной арматуры.

Поверхности, подвергаемые склеиванию, тщательно зачищают и обезжиривают; лучше, если они будут шероховатыми. Наличие уклонов на охватываемых и охватывающих поверхностях нежелательно.

Таблица 2.13

**Соотношение диаметров арматуры и отверстий в готовых изделиях
при усадке материала 0,8%**

Диаметр арматуры	Диаметр отверстий d_1 в изделиях		Примечание
	толстостенных	тонкостенных	
До 10 вкл.	$d - 0,3$ мм	$d + 10\%$	При закреплении в процессе прессования металлической арматуры диаметром 100 мм в изделие из пластмассы с толщиной стенки 6 мм происходит неизбежное растрескивание пластмассы, так как при усадке 0,8% величина ее (натяга) будет равна 0,8 мм. Однако, если та же самая арматура запрессовывается в готовое изделие после его формования, на ее крепление дается натяг всего лишь 0,4 мм
10–30	d	$d + 30\%$	
30–60	$d + 15\%$	$d + 40\%$	
60–100	$d + 25\%$	$d + 50\%$	

Установку арматуры на клею в холодную пластмассовую деталь осуществляют обычным методом, согласно технологии, принятой для склеивания металлов и других материалов с пластмассами.

Для обеспечения хорошего качества соединения между контактными поверхностями следует предусматривать зазор в пределах 0,04–0,06 мм на сторону. Для вклеивания применяют универсальные клеи.

При клеевом соединении должны быть предусмотрены буртики или другие торцовые базы, обеспечивающие точность и идентичность выполнения монтажа.

В некоторых случаях армированные детали из пластмасс должны быть герметичными. Такие узлы получают только спрессовыванием арматуры при изготовлении детали. Для получения герметичных узлов со сквозной арматурой необходимо, кроме выбора пластмассы, правильно выбрать конструкцию запрессовываемой части арматуры и клей или герметик для увеличения адгезии пластмассы и материала арматуры.

Конструкция запрессовываемой части арматуры должна обеспечить увеличение поверхности соприкосновения металла с пластмассой и устранить возможность возникновения внутренних напряжений. Последнее обеспечивают устранением острых кромок и резких переходов в запрессовываемой части арматуры (рис. 2.75).

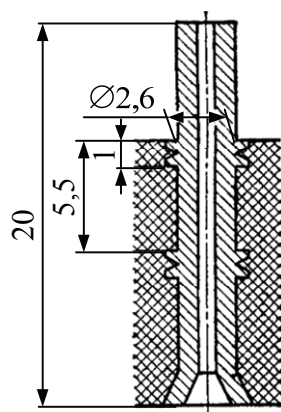


Рис. 2.75.
Расположение
арматуры в изделии

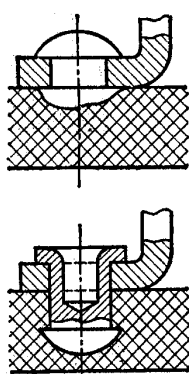


Рис. 2.76.
Армирование с помощью
армированных заклепок

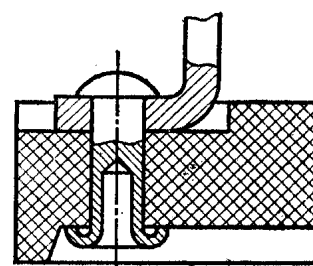
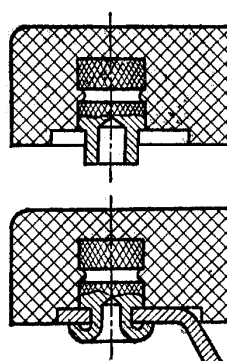


Рис. 2.77.
Армирование
с помощью заклепок

Армирование с помощью заклепок наиболее распространенный способ в приборостроении, радиотехнике и пр. Заклепки крепят в изделии формованием (рис. 2.76) или вводят при армировании в заранее предусмотренные места (рис. 2.77). Обычно применяют трубчатые заклепки, для деформации которых требуются меньшие усилия.

В некоторых случаях арматуру крепят без заклепок способом деформации отдельных ее участков. Этот вариант обычно применяют при тонколистовом армирующем материале (толщиной до 1 мм) или тонком прутке, для деформации которых не требуются значительные нагрузки.

2.7.2. Способы закрепления арматуры в изделии

Соединение арматуры с пластмассой должно быть настолько прочным, чтобы извлечение арматуры сопровождалось разрушением изделия или деформацией арматуры.

Применяют следующие способы закрепления арматуры:

- опрессование в процессе изготовления изделия (рис. 2.78, а);
- постановка на резьбе (рис. 2.78, б);
- запрессовка в изготовленную деталь (рис. 2.78, в);
- укрепление при помощи заклепок (рис. 2.78, г).

Арматуру для предохранения от проворачивания иногда крепят дополнительно штифтами (рис. 2.78, б).

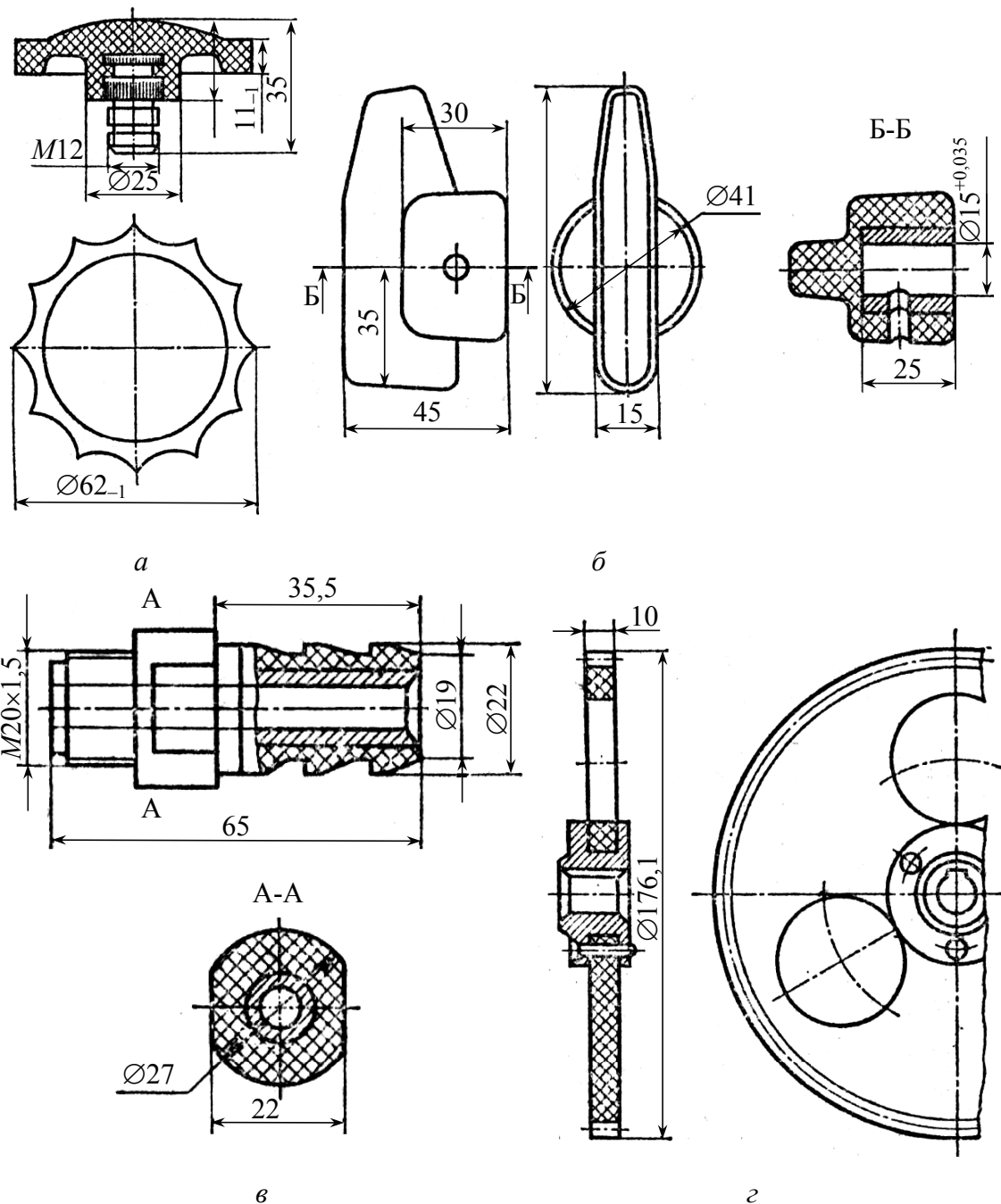
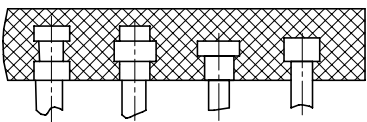
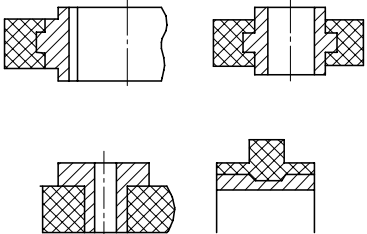
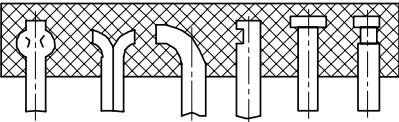
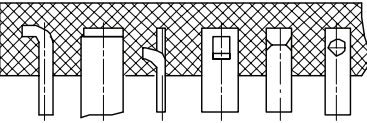
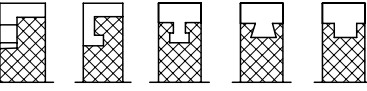
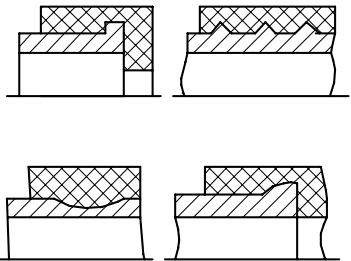


Рис. 2.78. Способы крепления арматуры

Фиксирующие элементы арматуры, запрессовываемые или заформовываемые в материал, определяют геометрическое положение арматуры относительно изделия; кроме базирования, они предназначены для крепления арматуры. Некоторые наиболее широко применяемые фиксирующие элементы приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Конструкция фиксирующих элементов, их назначение и область применения

Фиксирующая арматура	Назначение	Область применения
<p>Цилиндрическая</p> 	Для монтажа крепежной арматуры в деталях радиоаппаратуры, вспомогательных деталях машин и технологической оснастки	Для фиксирования втулок, гнезд, штырей, пальцев, цапф, ступиц в пластмассовой детали непосредственно при формовании, литье или прессовании
<p>Износоустойчивая полая</p> 	Для передачи крутящих моментов и восприятия высоких контактных нагрузок в элементах механического привода	В качестве ступиц, цапф, подпятников, кинематических звеньев механического привода (зубчатых колес, звездочек, маховиков, шатунов, кривошипов) и кондукторных втулок приспособлений
<p>Стержневая</p> 	Для элементов, не имеющих больших нагрузок и работающих как балка (анкер) с заделанным концом. Используют в радиоэлектротехнике и технологической оснастке	Токопередающие элементы в штепсельных вилках, цоколях радио- и электроаппаратуры, а также фиксирующие элементы приспособлений
<p>Клеммная</p> 	Для передачи электрического тока и в качестве крепежных элементов (проушин, вешалок, крючков)	В приборостроении и электрических деталях, а также в изделиях ширпотреба
<p>Кольцевая наружная</p> 	Для деталей силового привода, испытывающих высокие контактные напряжения, и токпередающих кольцевых коллекторов	Для изготовления пластмассовых колес, катков, тормозных шкивов, ленточных тормозов, коллекторов электрооборудования
<p>Трубчатая</p> 	Для соединения пластмассовых деталей с металлическими штуцерами, патрубками, форсунками, трубопроводами	В гидротехнических деталях низкого и высокого давления, трубах, аппаратуре (ниппели и штуцера сосудов высокого давления); фланцевые утолщения труб и оболочек, выводы в дроссельной аппаратуре

Выбор способа крепления арматуры определяется требованиями прочности и технологичности конструкции. Поэтому часто используют комбинированные варианты монтажа арматуры, например резьбоклеевые, заклепочноклеевые.

2.8. Разъемные и неразъемные соединения из пластмасс

2.8.1. Болтовые и заклепочные соединения

К механическим элементам крепления пластмассовых деталей относятся болты, винты, гайки, шайбы, самонарезающиеся винты, заклепки, которые используются для постоянных или разъемных соединений. Почти все механические крепежные элементы изготавливаются из металлов, следовательно, их свойства и размеры не зависят от температуры, времени и влажности. Кроме того, при механическом креплении сразу достигается предельная прочность соединения, чего нельзя сказать о клеевых соединениях.

Механическим креплением в основном соединяют отдельные детали, листы из стеклопластиков, слоистых пластиков и других материалов, которые неудобно или нельзя соединить сваркой (рис. 2.79).

Винты и гайки применяются для соединения деталей с тонкими стенками, например крышек для корпусов (рис. 2.80). В таких деталях должны быть оформлены полые цилиндрические бобышки, чтобы исключить искривление соединяемых областей в процессе затягивания болтового соединения (рис. 2.81).

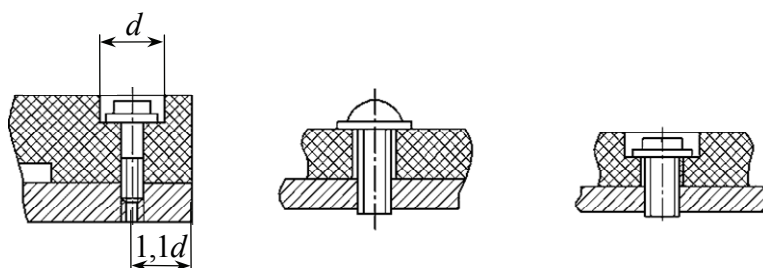


Рис. 2.79. Оформление отверстий под винт в изделии из пластмасс

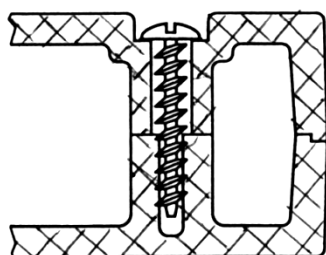


Рис. 2.80. Применение саморезующих резьбу винтов для механического соединения пластмассовых деталей

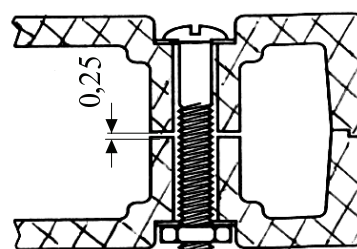


Рис. 2.81. Использование полых бобышек в соединениях с помощью винтов и гаек для ограничения деформации деталей

Зазор гарантирует, что поверхности по периметру детали войдут в соприкосновение до того, как поверхности бобышек коснутся друг друга и не начнется сжатие детали.

Типы болтовых соединений внахлестку, если требуется, чтобы соединение было неэлектропроводимым, представлены на рис. 2.82.

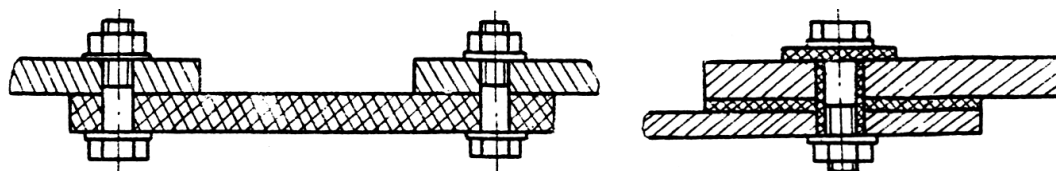


Рис. 2.82. Способы соединения с помощью болта внахлестку

Соединение пластмассовых изделий с помощью заклепок применяется для материалов, которые нельзя соединить сваркой. Заклепочные соединения следует конструировать так, чтобы заклепки работали на срез, а не на растяжение.

При соединении пластмассовых изделий металлическими заклепками для уменьшения нагрузки, возникающей при клепке и действующей на соединяемые изделия, целесообразно использовать не сплошные, а пустотелые (рис. 2.83, а) и полупустотелые (рис. 2.83, в) заклепки.

При соединении изделий из пластмасс заклепками следует увеличивать опорную площадь фланцев с помощью шайб (рис. 2.83, б, г).

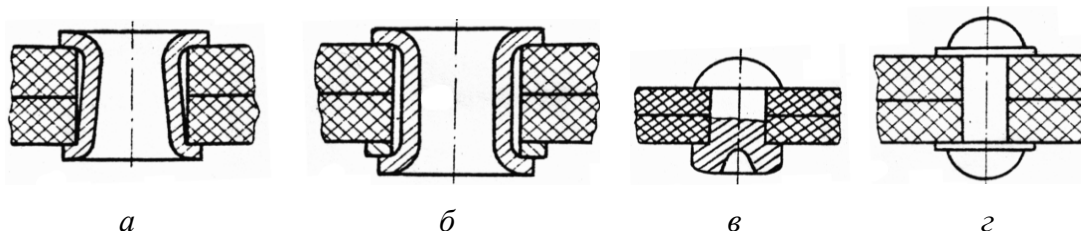


Рис. 2.83. Соединение пластмассовых деталей с помощью заклепок

Прочность соединения на смятие и срез существенно зависит от формы соединения. При соединении изделий толщиной менее 2,5 мм отношение диаметра отверстия под заклепку к толщине изделия следует принимать равным от 1,2 до 1,3, а изделий толщиной более 2,5 мм – равным 1.

Шаг крепежа (расстояние между центрами двух отверстий) должен быть от 4 до 5 диаметров отверстия. Минимально допустимый шаг крепежа должен быть не менее 3 диаметров отверстия.

При расположении отверстий в линию шаг между соседними рядами крепежных деталей должен быть равным минимально допустимому шагу между отверстиями в ряду; при расположении отверстий в шахматном порядке диагональное расстояние между отверстиями должно быть равно минимально допустимому шагу.

При симметричном соединении шаг между рядами должен быть равен 2 диаметрам отверстий, а при несимметричном соединении – не менее чем 4 диаметрам отверстия.

2.8.2. Замковые соединения

Основной целью при конструировании большинства пластмассовых изделий является минимизация количества сборочных операций за счет объединения их функций и формования элементов крепежа заодно с пластмассовой деталью. Пластмассовые детали, изготовленные литьем под давлением, должны идеально соответствовать требованиям сборки, так как они могут иметь очень сложную геометрию. Эти требования относительно просты. Необходимо минимизировать число деталей, входящих в сборочный узел и изделие в целом. Нужно как можно реже использовать винты, болты, т. е. элементы механического крепежа, требующего при сборке вращения. Необходимо уменьшить количество таких технологических процессов, как, например, склеивание или сварка. К сожалению, это трудно осуществить на практике. Для формования деталей со сложной геометрией необходимы литьевые формы сложной конструкции. Усложняется и процесс литья под давлением. Поэтому экономия затрат при сборке может быть сбалансирована ростом стоимости оснастки и операции формования. Надежность литьевой формы в процессе формования может играть большую роль, чем усложнение ее конструкции.

Использование крепежных механических элементов заменяется введением в конструкцию отлитых деталей крючков.

Выбор метода сборки, который максимально соответствует данному изделию, осуществляется с учетом ряда требований, и прежде всего экономических. Очень большое значение имеют материалы, из которых изготавливают сборочные единицы. Например, для деталей из ПЭ лучше использовать прессовые или замковые соединения, поскольку его химическая стойкость и низкая поверхностная энергия затрудняют применение клеевых соединений. Сварные соединения предпочтительны для термопластов, но не для реактопластов. Если соединяемые детали изготовлены из разнородных материалов или в процессе сборки вовлекается третий материал, как это имеет место при склеивании или механическом креплении, нужно уделять повышенное внимание КЛТР.

Замковые соединения экономически очень выгодны, поскольку необходимые знаки отливаются прямо вместе с деталью. Это устраняет необходимость использования дополнительных крепежных элементов. Сборка замковых соединений обычно не вызывает затруднений. При этом нет необходимости совершать вращательные движения или как-то фиксировать деталь. Замковые соединения могут быть сконструированы таким образом, что их можно использовать многократно.

На рис. 2.84 показан пример замковой конструкции. Здесь важно точно определить размеры уступа и канавки. При разъеме соединяемых изделий осевое усилие должно отогнуть конец изделия с уступом и вывести его без повреждения из канавки: для этого угол должен быть в пределах $30\text{--}40^\circ$, а высота $l = (2\text{--}3)\delta_2$; размеры a и h целесообразно принимать равными для обоих соединений изделий: $h_2 < h_1$; $a_2 < a_1$; $\beta = 15\text{--}20^\circ$ (обозначения см. на рис. 2.84).

Связь между деталями в замковом соединении обусловлена их конструктивными особенностями. В отличие от соединения прессовым способом в замковых соединениях упругое деформирование соединенных элементов наблюдается только при сборке и разборке изделия, что позволяет производить многоразовые сборки и разборки изделий. В ненагруженном состоянии элементы соединения совсем не испытывают или испытывают незначительные нагрузки.

Качество замковых соединений, и в частности их несущая способность, зависят от деформационных свойств, прочности, коэффициента трения пластмасс, температуры эксплуатации, геометрии соединения (выступа, длины и формы выступа, толщины стенок), которая определяет величину натяга.

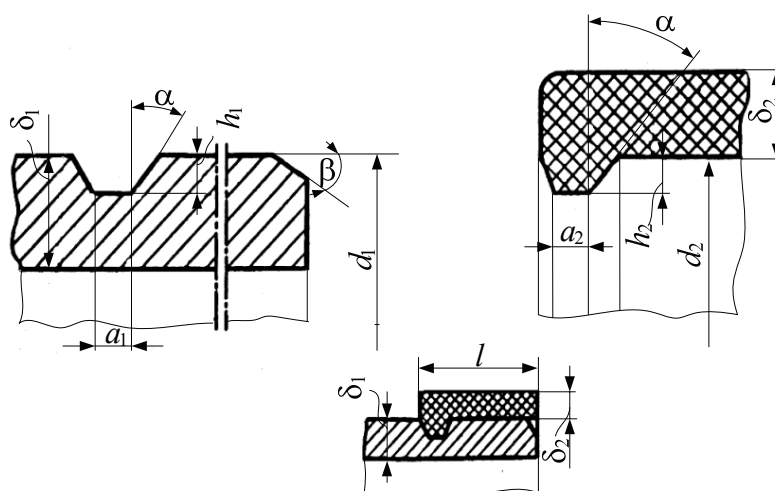


Рис. 2.84. Вариант конструкции замкового соединения двух изделий:

α – стопорный угол (угол удержания);

β – входной угол (угол встречи)

При сборке или разборке на элементы соединения воздействует суммарная деформация (для цилиндрического соединения охватывающий элемент расширяется на ε_1 , а охватываемый сжимается на ε_2), которая равна натягу (H):

$$H = \varepsilon_1 + \varepsilon_2. \quad (2.15)$$

Прочность замкового соединения возрастает с увеличением натяга (глубины поднутрения). Однако, чтобы исключить пластические деформации при извлечении детали с поднутрениями из формы и при сборке, глубина полости должна быть не больше, чем максимальное упругое удлинение материала.

В качестве допустимой рекомендуется применять деформацию, равную половине деформации, которая соответствует границе текучести (табл. 2.15). Относительный натяг $H_{\text{отн}}$ может составлять 4% от номинального диаметра, равного $d - h$ (см. рис. 2.84). $H_{\text{отн}}$ рассчитывают по формуле

$$H_{\text{отн}} = \frac{H}{d - h} 100. \quad (2.16)$$

При использовании одной из деталей с удлиненным разрезом, которые способствуют появлению у нее спружиненных крючков, можно значительно увеличить глубину поднутрения. Такой спружиненный крючок можно рассматривать как консольно закрепленную балку (рис. 2.85).

Таблица 2.15

Деформационные характеристики некоторых термопластов

Термопласт	Относительная деформация*, %	Модуль упругости, МПа
Полиоксиметилен (ПОМ)	10	3000
ПОМ + 30% стекловолокна	4	9000
Полиэтилентерефталат	5	3500
Полиамид 6 и полиамид 6,6	4–5	1600–2000
Поликарбонат	12	2400
Полифениленоксид	9	2500–2800
Сополимер АБС	3–5	2400
Полипропилен (ПП)	12	1200–1400
ПП + 30% стекловолокна	2–3	4500
Полистирол	1–1,5	3200
Полиэтилен	8–10	1000

* Соответствует границе текучести.

При сборке на крючок действует сила P , которая вызывает изгибающие и сдвигающие напряжения в балке.

Максимально возможная высота поднутрения f_{\max} соответствует максимально допустимому прогибу $f_{\text{пр}}$ свободного конца балки, который можно рассчитать согласно уравнению упругой линии:

$$f_{\text{пр}} = \frac{PL^3}{3EI}, \quad (2.17)$$

где L – длина от выступа до основания крючка; E – модуль упругости; I – момент инерции.

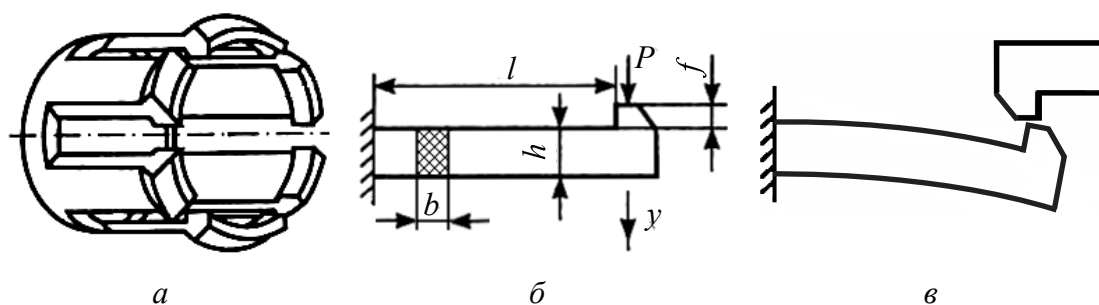


Рис. 2.85. Конструкция замкового соединения со пружинными крючками:

a – деталь с удлиненными разрезами;

б – пружинный крючок до сборки замкового соединения;

в – пружинный крючок при сборке замкового соединения

Для более точного расчета f_{\max} необходимо учитывать деформацию сдвига $f_{\text{сдв}}$:

$$f_{\text{сдв}} = \frac{PL\chi}{FG}, \quad (2.18)$$

где χ – коэффициент, который зависит от формы поперечного сечения (для прямоугольного сечения $\chi = 1,2$); F – площадь поперечного сечения; G – модуль сдвига.

Вклад деформации сдвига в общую деформацию крючка составляет 10% при $L/h = 3$ и только при наличии в соединении коротких или толстостенных элементов.

Преобразовав формулу f_{\max} для для приблизительных расчетов, получим:

$$f_{\max} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{\max} L^2}{h}, \quad (2.19)$$

где ε_{\max} – максимальное удлинение, которое соответствует границе текучести (см. табл. 2.15).

На рис. 2.86 показано несколько кривых (рассчитанных при разных отношениях ε_{\max}/h) для определения максимальной высоты поднутрения крючков с постоянным поперечным сечением, которое имеет двухосную симметрию.

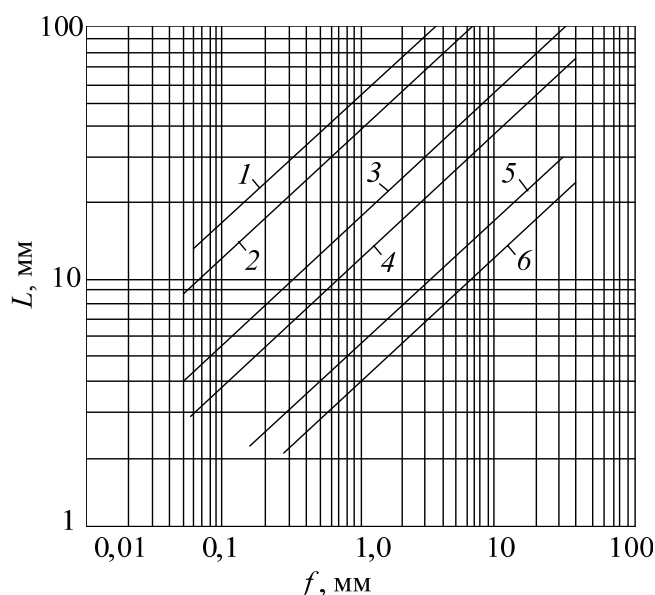


Рис. 2.86. Зависимость максимальной высоты f поднутрения от длины L крючка при разных отношениях

удлинения к высоте крючка ε_{\max}/h :

1 – $0,05 \text{ м}^{-1}$; 2 – $0,1 \text{ м}^{-1}$; 3 – $0,5 \text{ м}^{-1}$; 4 – $1,0 \text{ м}^{-1}$; 5 – $5,0 \text{ м}^{-1}$; 6 – 10 м^{-1}

Сборку замковых соединений легче сделать при помощи скругления канта или оформления на конце скоса под углом встречи, который составляет $0,170\text{--}0,785$ рад (см. рис. 2.84).

2.8.3. Соединение сваркой

При помощи сварки соединяют только термопластичные пластмассы. Преимуществами сварки являются большая прочность соединения (от 90 до 100% прочности основного полимера), высокая производительность и малая трудоемкость.

На рис. 2.87 приведены типы сварных швов.

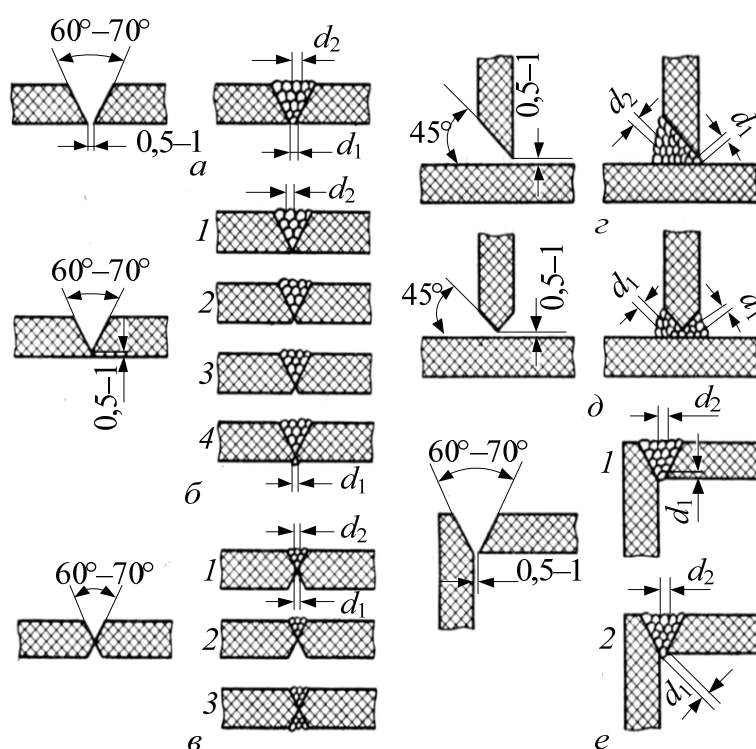


Рис. 2.87. Основные типы сварных швов при сварке горячим газом с присадочным прутком:

- а* – стыковой V-образный шов без подварки; *б* – стыковой V-образный шов с подваркой: 1 – шов с подваркой; 2 – шов с зачисткой вершины; 3 – шов с закруглением вершины; 4 – шов с дополнительной подваркой со стороны вершины; *в* – X-образный шов: 1 – сварка одной стороны; 2 – закругление вершины; 3 – сварка второй стороны;
- г* – тавровое соединение, шов $1/2$ V; *д* – тавровое соединение, V-образный шов; *е* – угловое соединение, V-образный шов: 1 – без подварки; 2 – с подваркой

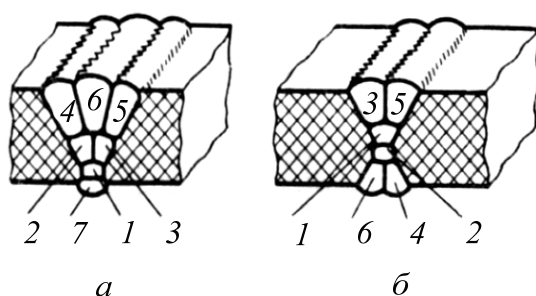


Рис. 2.88. Схема (порядок)

наложения валиков:

а – в V-образном стыковом валиковом шве; *б* – в X-образном стыковом шве

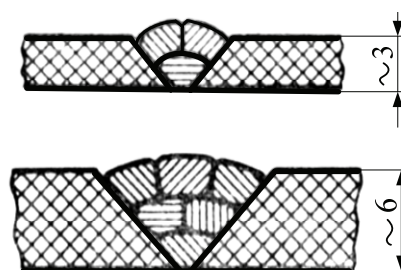


Рис. 2.89. Количество валиков

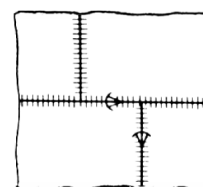
при сварке пластмассовых элементов различной толщины

Для стыковых соединений применяют V-образные швы при толщине материала до 4 мм. Для сварки элементов конструкций большей толщины применяют X-образные швы. На рис. 2.87 показана подготовка кромок и выполнение швов. Кроме скоса, предусматривается зазор между свариваемыми элементами конструкций, чтобы вершина шва была хорошо проварена.

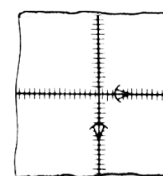
В связи со сложностью равномерного прогрева материала до температуры сваривания элементы конструкций с толщиной свыше 2 мм сваривают путем последовательного наложения швов (рис. 2.88), иначе свариваемые детали будут коробиться. Число валиков зависит от толщины свариваемых деталей (рис. 2.89).

Сварные швы не должны перекрещиваться друг с другом. На рис. 2.90, *а* показано правильное выполнение сварных швов, а на рис. 2.90, *б* – неправильное (это относится также к сварке труб большого диаметра). Сначала свертывают листы в кольца, и каждое кольцо сваривают, а затем сваривают отдельные кольца друг с другом.

Детали различной толщины при сваривании их горячим газом нагреваются неравномерно, и сварной шов получается некачественным. В таких случаях целесообразно выполнять переход свариваемого места так, как это показано на рис. 2.91, т. е. стыковые швы не должны находиться в местах концентраций напряжений, т. е. не должны проходить



Правильно

а

Неправильно

б

Рис. 2.90. Схема расположения сварных швов

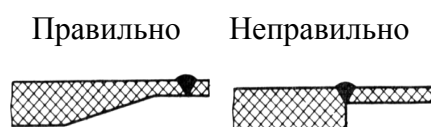


Рис. 2.91. Подготовка материалов различной толщины при сварке их горячим воздухом

по месту резкого изменения толщины стенки детали.

Угловые и тавровые соединения могут быть выполнены при помощи стыковых или валиковых швов, причем соединения со стыковыми швами имеют большую прочность. Различные варианты угловых и тавровых сварных соединений показаны на рис 2.92.

На рис. 2.93 показан способ приварки плиты к трубе. При этом

способе соединения трубы с плитой следует иметь в виду, что сварные швы снижают прочность труб.

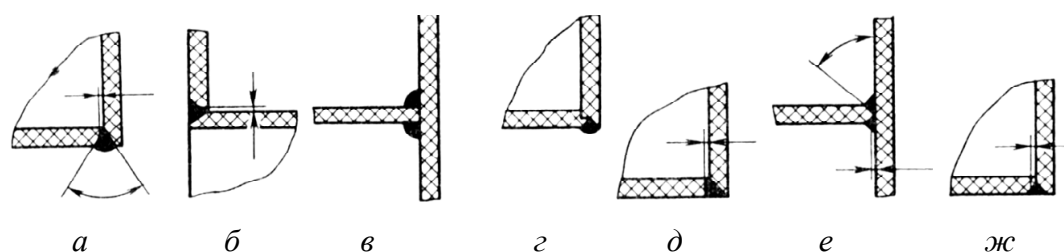


Рис. 2.92. Примеры конструирования угловых и тавровых сварных соединений:
а – угловое соединение, V-образный шов; *б* – угловое соединение, V-образный шов с зачисткой вершин (прочность шва снижается);
в – тавровое соединение без скоса кромок соединяемых деталей (прочность соединения мала); *г* – угловое соединение, V-образный шов, кромки соединяемых деталей пригнаны друг к другу; *д* – угловое соединение, шов 1/2 V, кромка одной соединяемой детали не разделена; *е* – угловое соединение, двусторонний шов с одной стороны (снизу) X-образный, с другой стороны 1/2 V, кромка одной соединяемой детали не разделена; *ж* – тавровое соединение, V-образный шов, применяется при соединении элементов детали с толщиной более 5 мм.

На ряде последующих рисунков приведены различные комбинации сварных соединений, применяемых при конструировании сосудов.

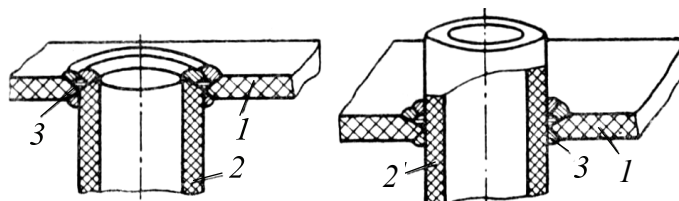


Рис. 2.93. Пример сварного соединения плиты с трубой:
1 – плита; *2* – труба; *3* – сварочный шов

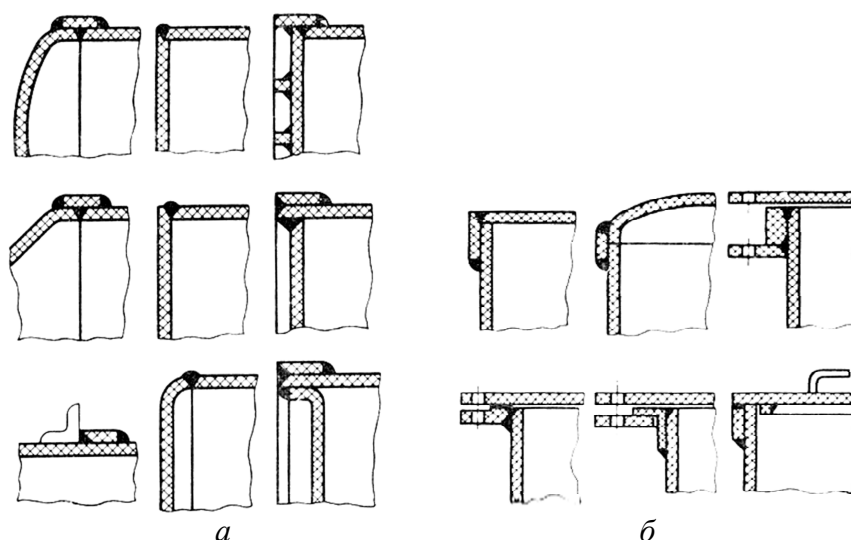


Рис. 2.94. Примеры конструирования соединений дна (*а*) и крышки (*б*) с корпусом сосуда

На рис. 2.94 даны различные варианты соединений дна с рубашкой и крышкой цилиндрического сосуда.

Уже отмечалось, что соединения со стыковыми швами имеют наибольшую прочность. Это необходимо учитывать при конструировании деталей, соединяемых сваркой. В соединениях внахлестку и с односторонней накладкой возникают значительные изгибающие напряжения. Концентрацию напряжений можно уменьшить, применив вместо углового стыковое соединение стенки детали, выгнутой соответствующим образом.

Типичным примером правильной сварки сильно нагруженной конструкции является сварной узел фасонного дна сосуда, показанный на рис. 2.94 (*а*, вверху справа). Прочностные показатели стыковых швов при сварке различных пластмасс приведены в табл. 2.16.

Относительная прочность сварного шва K , %,

$$K = \frac{\sigma_{\text{шва}}}{\sigma_{\text{вр}}} 100\%, \quad (2.20)$$

где $\sigma_{\text{шва}}$ – предел прочности сварного шва при разрыве, кгс/см²; $\sigma_{\text{вр}}$ – предел прочности при разрыве основного материала, кгс/см².

Соединения, выполненные стыковыми швами, рассчитывают на прочность по уравнению

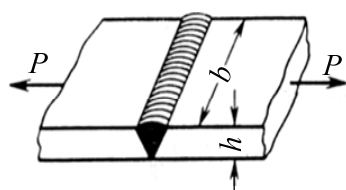


Рис. 2.95. Схема нагружения лобового соединения

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (2.21)$$

где σ – напряжение в сварном шве, кгс/см²;
 P – сила, действующая на соединение, кгс;
 $F = bh$ – площадь поперечного сечения листа в месте сварного шва, см² (рис. 2.95).

Чтобы соединение могло длительно выдерживать рабочую нагрузку, необходимо соблюдать условие:

$$\sigma \leq K[\sigma]_p,$$

где $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение на растяжение для основного материала.

Таблица 2.16

**Прочностные показатели стыковых сварных швов
при сварке некоторых пластмасс**

Вид пластмассы	Прочность сварного шва K , %, отнесенная к прочности свариваемого материала
Полиэтилен высокой плотности	50–80
Полиэтилен низкой плотности	95–100
Поливинилхлорид	75–90
Полипропилен	65–90
Акрильные пластмассы (полиметилметакрилат)	75–85

Относительную прочность сварного шва определяют по табл. 2.17.

Таблица 2.17

Предел прочности на растяжение, кгс/см², сварных соединений

Вид пластмассы	Нагрев		
	косвенный		непосредственный
	соединение внахлестку	соединение встык	
Полиметилметакрилат	400	630	500
Твердый поливинилхлорид	350	500	500
Полистирол	140	300	150
Полиэтилен	–	130	130
Политетрафторэтилен (тефлон)	–	–	50

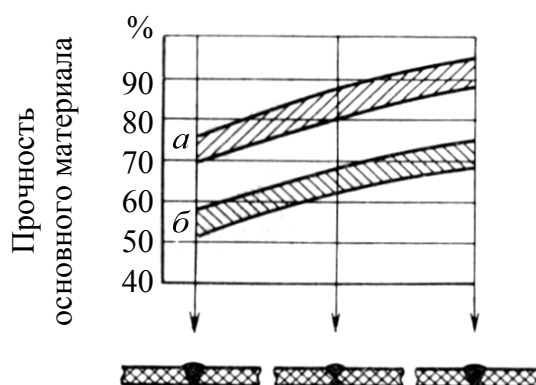


Рис. 2.96. График прочности стыковых сварных швов из твердого поливинилхлорида: *а* – незачищенных швов; *б* – зачищенных швов

Различие прочности зачищенных и незачищенных сварных швов для конструкций поливинилхлорида графически представлено на рис. 2.96

2.8.4. Соединение склеиванием

Соединение склеиванием используют при производстве крупногабаритных изделий из пластмасс, а также если изготовление форм вследствие сложности конфигурации и небольшого количества изделий экономически невыгодно.

Преимущество клеевых соединений заключается в том, что с помощью синтетических клеевых материалов можно склеивать разные пластмассы между собой, а также пластмассы с металлом, тканью, стеклом и другими материалами.

Клеевые соединения обеспечивают хорошую герметичность и обладают хорошей сопротивляемостью вибрационным нагрузкам. Клеевые соединения должны быть такими, чтобы при нагрузке в клеевом слое возникали только напряжения сдвига.

Условные изображения и обозначения швов клеевых соединений на чертежах должны соответствовать ГОСТ 2.313–68.

Типы клеевых соединений приведены на рис. 2.97.

Любую конструкцию можно представить как сочетание листов, балок, профилей, стержней, труб и им подобных элементов. С учетом указанных выше требований детали из листовых материалов соединяют по плоскостям, уголком или в тавр, а трубчатые детали – по телескопической форме (рис. 2.97).

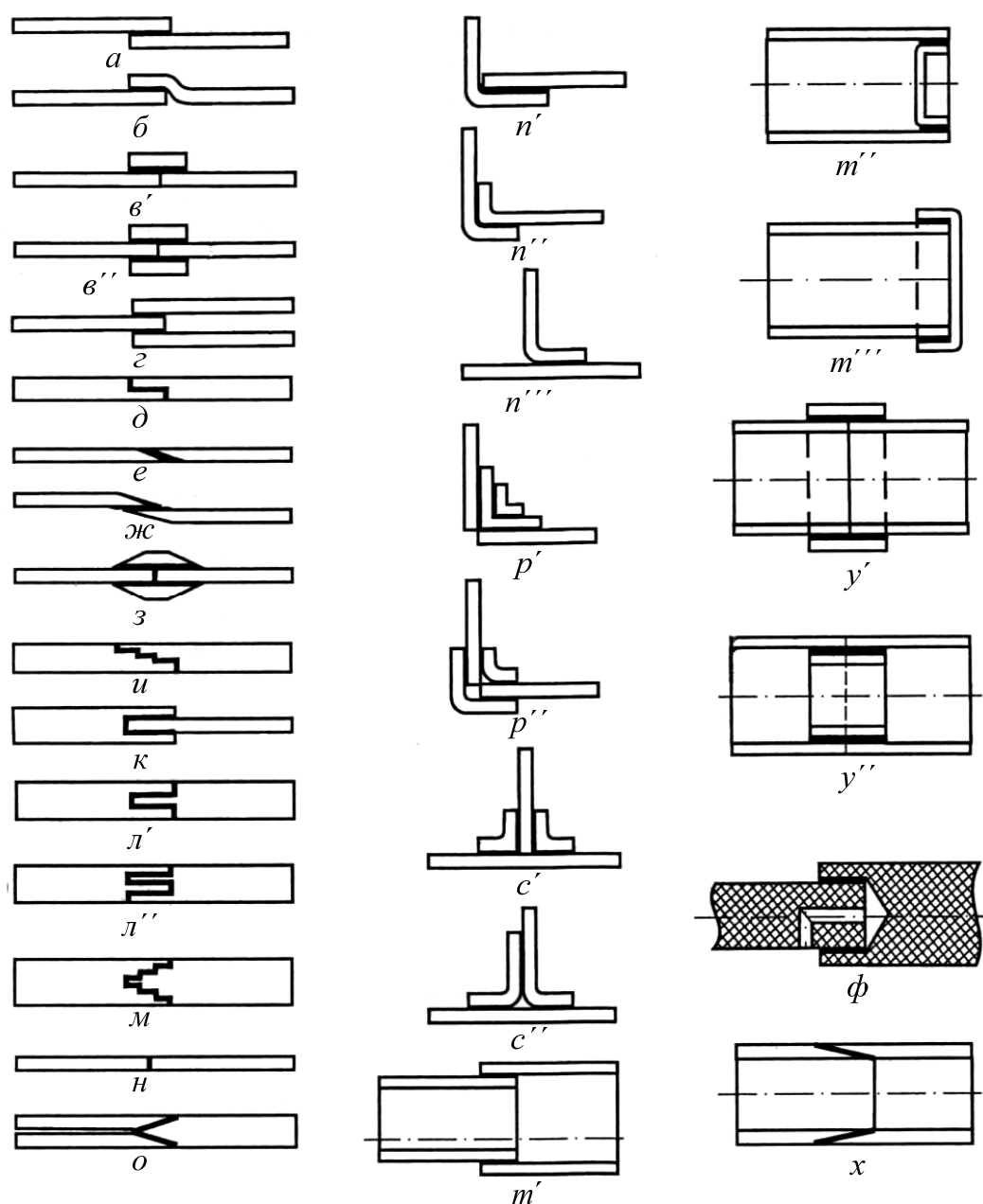


Рис. 2.97 – Типы конструкций клеевых соединений:

a – внахлестку (нахлестанное); *б* – встык с подсечкой; *в'*, *в''* – встык с одной и двумя накладками; *г* – с двойной нахлесткой; *д* – двухстороннее врезное; *е* – со скашиванием кромок (на ус); *ж* – двухскосное нахлесточное; *з* – встык со скошенными накладками; *и* – ступенчатое нахлесточное; *к* – пазовое; *л'*, *л''* – шпунтовое; *м* – ступенчатое шпунтовое; *н* – встык (стыковое); *о* – двойное на ус; *н'*, *н''*, *н'''* – угловое внахлестку; *п'*, *п''* – угловое с уголковыми накладками; *с'*, *с''* – тавровое; *м'*, *м''*, *м'''* – телескопические (трубчатые внахлестку); *у'*, *у''* – трубчатые муфтовые; *ф* – соосное двух стержней; *х* – трубчатое на ус

Приведенные конструкции клеевых соединений отличаются своим поведением при действии на них различных нагрузок (растяжение, сжатие, изгиб и т. д.). Некоторые соединения, очень прочные при нагружении в одном направлении, могут быстро разрушиться при изменении направления действия нагрузки. Например, соединение встык, характеризующееся высокой прочностью при сжатии, обладает низкой прочностью при растяжении и особенно при изгибе. Соединение внахлестку может выдержать относительно большую растягивающую нагрузку, но при изгибе легко разрушается. Некоторое представление о концентрации напряжений в различных соединениях при действии растяжения, сжатия или изгиба дает табл. 2.18. Большое значение имеет также равномерность (или неравномерность) распределения этих напряжений в клеевом шве. Поэтому при конструировании клеевого соединения необходимо иметь представление о напряжении, существующем в каждой точке соединения. Вычисленные или найденные на основании опытных данных средние значения напряжения не могут дать полного представления о действительном распределении напряжений, возникающих при нагружении.

Таблица 2.18

Концентрация напряжений в клеевых швах при различных нагрузках

Вид соединения	Концентрация напряжений		
	растяжение	сжатие	изгиб
Внахлестку	Большая	Большая	Большая
На ус	Малая	Малая	»
Встык	Средняя	Малая	»
Встык с подсечкой	Большая	Большая	»
Двухстороннее врезное	Средняя	Малая	»
Двухскосное нахлесточное	Малая	Малая	Средняя

Прочность клеевых соединений зависит от многих факторов: геометрических соотношений, жесткости соединяемых элементов, упругопластических свойств клеевой прослойки, ее толщины и толщины соединяемых элементов, эксцентриситета нагружения и от многих других, иногда трудно учитываемых при расчетах. Поэтому полнее исследована прочность наиболее простых видов соединений – нахлесточных и на ус при растяжении.

2.9. Экструзионные профильные изделия

2.9.1. Назначение, области применения и классификация профильных изделий

Форма поперечного сечения и размеры профиля оказывают непосредственное влияние на выбор технологической схемы производства и конструкцию технологической оснастки. С учетом многообразия форм и областей применения профильных изделий трудно дать их классификацию, которая бы отражала всю совокупность требований, предъявляемых к этому широкому и во многом специфичному классу погонажных изделий.

Профильные изделия по назначению можно разделить:

- 1) на декоративно-отделочные;
- 2) конструкционные;
- 3) специального назначения.

К первым относится большинство профилей из самых различных термопластов, в том числе комбинированные, многоцветные, профили из вспененных материалов, которые при эксплуатации не несут значительных нагрузок, а предназначены для окантовки, облицовки, заделки щелей, придания машинам и конструкциям эстетичного внешнего вида и т. д.

К конструкционным относятся профильные изделия, воспринимающие при работе значительные нагрузки и составляющие элементы конструкции целевого назначения, например рамы оконных переплетов, дверные проемы ручки чемоданов или аппаратуры и т. д.

К профилям специального назначения можно отнести изделия, которые не относятся к первым двум типам и которые имеют вставки других материалов, благодаря чему профиль имеет целевое назначение. К этому типу профилей не относятся изделия, содержащие вставки для усиления профиля (металл, дерево, текстиль и пр.). В качестве примера профиля специального назначения можно назвать коллекторную гребенку электродвигателя, в которую вставлены токонесущие медные шины.

Классификация профильных изделий. Особенности экструзионного процесса получения профильных изделий, а также особенности расчета и конструирования технологической оснастки в значительной мере определяются геометрией изделия.

В зависимости от геометрии профильные изделия целесообразно классифицировать на ряд групп или типов (рис. 2.98). В приведенную классификацию включены только те комбинированные изделия, которые изготавливаются в одном непрерывном технологическом процессе.

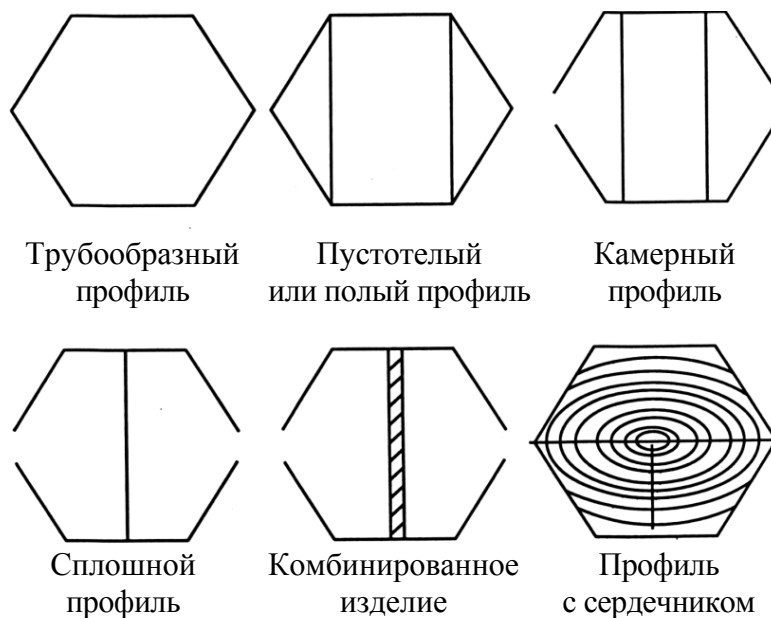


Рис. 2.98. Классификация пластмассовых профильных изделий

Указанные типы профилей характеризуются следующими признаками:

- трубообразные (тип I) – одинаковая толщина стенок и скругленные углы;
- пустотелые (тип II) имеют закрытые полости. Возможны конструкции с различной толщиной стенок, с перемычками и резкими переходами в углах;
- камерные (тип III) аналогичны по конструкции пустотелым профилям, но отличаются от них разрывом наружной оболочки. Возможна различная толщина стенок;
- сплошные (тип IV) характеризуются отсутствием замкнутых полостей и разнообразием форм и размеров;
- комбинированные (тип V) могут быть любыми из указанных выше типов с включением участка или участков другого цвета, другого материала или того и другого вместе;
- с сердечником (тип VI) – это полые профили с сердечником из инородного полимерного материала, стали, дерева, текстиля и т. д.

Сердечник поступает в угловую экструзионную головку, где частично или полностью покрывается слоем полимера.

Кроме того, профильные изделия различают также по некоторым особенностям геометрии поперечного сечения:

- соотношению толщин стенок на различных участках сечения профиля – равно- и разнотолщинные;
- симметрии – с одной осью симметрии, с двумя осями симметрии, осесимметричные (стержни, трубы) и несимметричные;
- относительной толщине стенок – тонкостенные ($h / b < 0,1$), нормальные ($h / b = 0,1-0,5$) и толстостенные ($h / b > 0,5$).

2.9.2. Выбор материала для производства профильных изделий

Профильные изделия, в принципе, можно изготавливать из любых термопластов, однако чаще всего их производят из жесткого ПВХ, ударопрочного полистирола, АБС, полиэтилена высокой и низкой плотности, пластифицированного ПВХ, полипропилена, полиметилметакрилата, поликарбоната, эфирцеллюлозных пластиков. Наиболее распространенным конструкционным материалом для этих целей является жесткий ПВХ и его сополимеры. Материал обладает высокой прочностью и жесткостью, невысоким относительным удлинением, хорошим сопротивлением ударным нагрузкам, хорошо перерабатывается. В настоящее время разработано большое количество композиций ПВХ самого различного назначения. Одним из наиболее важных преимуществ ПВХ является его дешевизна, вследствие чего объемы производства этого материала в большинстве стран мира весьма значительны. Наименее пригоден для производства профильных изделий полиэтилен высокой плотности. Этот материал обладает высокой упругостью расплава при переработке, поэтому изделия сложной формы трудно формовать. Кроме того, при экструзии трудно обеспечить равномерность охлаждения отдельных элементов профиля сложного сечения вследствие склонности материала к короблению. Поэтому полиэтилен высокой плотности применяется для производства относительно несложных изделий. В табл. 2.19 приведены сравнительные характеристики термопластов, применяемых для производства профильных изделий.

Таблица 2.19

Основные характеристики материалов для экструзии профильных изделий

Термо-пласт	Оценка переработки	Основные характеристики	Область применения
<i>Стирольные пластики</i>			
Акрилонитрилбутадиенстирол (АБС)	Очень хорошо	Обладает наилучшим комплексом свойств из общепринятых жестких пластиков – высокой жесткостью, хорошей прочностью на удар, особенно при низких температурах, стоек к слабым кислотам и щелочам, растворяется в органических растворителях, особенно в хлорированных углеводородах, имеет высокие диэлектрические показатели, материал непрозрачен, хорошо окрашивается	Диапазон температур применения от –40 до +80°C, одновременно до +95°C. Применяется для производства изделий повышенной прочности и жесткости и глянцевой поверхности. Может применяться для производства изделий, соприкасающихся с пищевыми продуктами (неокрашенные сорта). Изделия могут соединяться склеиванием
Ударопрочный полистирол (УПС)	Очень хорошо	Сравнительно недорогой жесткий материал. Обычно непрозрачный, окрашиваемость ограниченная. Поверхность изделий матовая. Материал устойчив к действию растворов солей, минеральные и растительные масла оказывают на него лишь слабое воздействие	Применяется для производства недорогих жестких изделий, к которым не предъявляется таких высоких требований, как к профилям из АБС. Изделия могут соединяться склеиванием
Полистирол общего назначения (ПС)	Хорошо	Наиболее дешевый из термопластов. Прозрачен, хорошо окрашивается, имеет высокий глянец поверхности изделий. Хрупок. Имеет высокие диэлектрические показатели	Из-за повышенной хрупкости для производства профильных изделий применяется редко, в основном для светопрозрачных изделий
<i>Полиолефины</i>			
Полиэтилен низкой плотности (ПНП)	Удовлетворительно	Эластичный материал с хорошими диэлектрическими свойствами и низким водопоглощением. Полупрозрачен (для неокрашенных сортов). В тонких слоях может быть прозрачным. Имеет высокую морозостойкость (до –70°C). Механические показатели сильно снижаются с увеличением температуры, склонен к ползучести, к образованию усталостных трещин под воздействием поверхностно активных веществ	Диапазон температур применения под нагрузкой от –40 до +50°C. Многие марки ПНП пригодны для соприкосновения с пищевыми продуктами. Пригоден для производства относительно несложных изделий, работающих при отрицательных температурах

Продолжение табл. 2.19

Термо-пласт	Оценка переработки	Основные характеристики	Область применения
Полиэтилен высокой плотности (ПВП)	Неудовлетворительно	Недорогой полупрозрачный материал имеет среднюю жесткость. Модуль при растяжении 700–1400 МПа. Обладает высокой химической стойкостью к большинству минеральных и органических веществ. При переработке обладает высокой упругостью расплава, что затрудняет получение изделий заданной формы и размеров. Имеет высокий коэффициент линейного расширения, что необходимо учитывать при эксплуатации	Диапазон температур применения под нагрузкой от –20 до +60°C. Соединение изделий – сваркой. Применяется для производства относительно несложных изделий
Полипропилен (ПП)	Хорошо	Имеет наименьшую из полиолефинов плотность. Полупрозрачный материал, хорошо окрашивается. Обладает высокой химической стойкостью и хорошими антифрикционными свойствами. Высокая стойкость к усталостным трещинам. При низких температурах хрупок. Модуль упругости при растяжении 1100–1500 МПа. Имеет повышенную жесткость и твердость	Изделия, как правило, имеют светло-серый цвет. Диапазон температур применения под нагрузкой от –5 до +100°C. Применяется для производства изделий, требующих высокой теплостойкости, химической стойкости и долговечности
Сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА)	Хорошо	Полупрозрачный материал с хорошей окрашиваемостью. Обладает высокой эластичностью. Поверхность изделий матовая или слегка глянцевая. Температура плавления ниже, чем у ПНП. С увеличением содержания винилацетата значительно уменьшается степень кристалличности, жесткость и прочность. Сополимеры с содержанием винилацетата в пределах 10–12 мол %, относятся к пластикам, по свойствам близким к полиэтилену н. п., при содержании винилацетата порядка 13–25 мол %, сополимер каучукоподобен	Часто применяется вместо пластифицированного ПВХ при работе в области низких температур или при опасности миграции пластификатора – различного рода уплотнительные прокладки или изделия, требующие погодостойкости

Продолжение табл. 2.19

Термо-пласт	Оценка переработки	Основные характеристики	Область применения
<i>Поливинилхлорид и его сополимеры</i>			
Жесткий ПВХ (НПВХ)	Превосходно	Наилучший материал для производства сложных профилей. Обладает хорошей погодостойкостью, умеренной прочностью, относится к самогасящимся материалам. Наиболее дешев из конструкционных пластмасс с аналогичными характеристиками. Непрозрачный, окрашиваемость ограниченная (вследствие наличия в композициях наполнителей). Поверхность изделий матовая или глянцевая. Имеет высокую длительную прочность, высокий модуль упругости (до 3000 МПа) при нормальной температуре, устойчив по отношению к органическим и неорганическим кислотам, щелочам, окислителям, алифатическим углеводородам. Растворим в хлорированных углеводородах. При низких температурах хрупок, прочность на удар невысока	Диапазон температур применения под нагрузкой от –5 до +60°С. Применяется в строительстве электротехнической промышленности, машиностроении для производства самых разнообразных сложных профилей
ПВХ-пластикат (ВПХпл.)	Хорошо	Непрозрачный материал янтарного цвета, хорошо окрашивается. В зависимости от состава композиции и содержания пластификатора механические свойства изменяются в широком диапазоне от очень гибких до полужестких материалов. Поверхность изделий – матовая или с высоким глянцем. Расплавы пластикатов высоковязки и формоустойчивы поэтому не требуют калибрования экструдата. Специальные композиции могут быть прозрачными	Применяется для производства отделочных, декоративных, уплотнительных профилей различного поперечного сечения

Продолжение табл. 2.19

Термо-пласт	Оценка переработки	Основные характеристики	Область применения
<i>Полиакрилаты</i>			
Полиметилметакрилат (ПММА)	Хорошо	Прозрачный материал. Оптическую прозрачность при экструзии достичь невозможно. Один из самых атмосферостойких пластиков. Прочность выше, чем у эфироцеллюлозных пластмасс. Ударопрочные полиакрилаты непрозрачны. Очень хорошо окрашивается. Изделия имеют высокий поверхностный глянец. При переработке склонен к накоплению значительных остаточных напряжений, вызывающих самопроизвольное растрескивание изделий, если напряжения не снять	Применяется для производства изделий светотехнического назначения. Может использоваться для контакта с пищевыми продуктами (например, молокопроводы)
<i>Термостойкие конструкционные пластики</i>			
Поликарбонат (ПК)	Хорошо	Один из лучших конструкционных пластиков, имеет высокую прочность при высоких и низких температурах, высокую теплоустойчивость очень высокую прочность на удар, малую усадку при переработке. Прозрачен, легко окрашивается. Гигроскопичен, при переработке требует подсушки. Изделия имеют высокий поверхностный глянец. Дорогой	Диапазон температур применения под нагрузкой от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$. Может применяться для производства изделий повышенной точности
Полиуретан (ПУ)	Хорошо	Полупрозрачный материал янтарного цвета, хорошо окрашивается. Имеет высокую эластичность и износостойкость. Жесткость изменяется в широком диапазоне. Обладает высокой стойкостью к бензину, маслам и озону	Применяется для производства износостойких изделий
Полиамиды (ПА)	Хорошо	Материал молочно-белого цвета, хорошо окрашивается. Имеет низкий коэффициент трения, высокую прочность на удар при высоких и низких температурах. Изделия имеют высокий поверхностный глянец. Для экструзии применяются высоковязкие сорта типа полиамида-11 и полиамида-12. Материал имеет относительно высокое водопоглощение	Диапазон температур работы под нагрузкой от -10 до $+30^{\circ}\text{C}$. Применяется для производства изделий, требующих малого коэффициента трения

Окончание табл. 2.19

Термо-пласт	Оценка переработки	Основные характеристики	Области применения
<i>Вспененные материалы</i>			
Жесткий пено-ПВХ (ПНПВХ)	Хорошо	В отличие от невспененного НПВХ имеет меньшую прочность при разрыве (20–25 МПа) и модуль упругости (1000–1250 МПа), большее относительное удлинение (25–40%). Химстойкость и погодостойкость аналогичны жесткому ПВХ. Для производства профильных изделий, применяются композиции с использованием химического вспенивателя (порофора). Композиции состоят из полимера-основы (суспензионного или массового ПВХ), вспенивающего агента (обычно азодикарбонамида), модифицирующих добавок, улучшающих технологические и механические свойства материала, стабилизаторов, активаторов, ускоряющих процесс разложения порофора, смазок, наполнителей и красителей	Используется для производства декоративно-отделочных профилей (плинтусов, накладок, ковродержателей, стенок мебельных ящиков, панелей и т. д.). Максимальная температура эксплуатации +60°C. Изделия из ПНПВХ легко обрабатываются механическими методами (сверление, точение и т. д.). Соединяются склеиванием, с помощью гвоздей и т. д.

2.9.3. Общие требования к конструкции профильных изделий

Прежде чем приступить к конструированию технологической оснастки для производства профильного изделия, необходимо выполнить ряд предварительных операций. Прежде всего, следует критически рассмотреть заданную конструкцию профиля. Далеко не всегда предлагаемое изделие технологично. Одна лишь форма профиля не дает достаточной информации о том, как следует изготавливать изделие. Нужны также сведения об особенностях эксплуатации изделия, об обоснованности выбора материала. Поэтому прежде всего необходимо согласовать требования со стороны заказчика с проблемами, возникающими у изготовителя. Принимая во внимание свойства перерабатываемого материала, массу профиля и площадь его поперечного сечения, переработчик обязан найти оптимальное

решение, являющееся компромиссным между конструкцией профиля, его назначением, свойствами пластмассы и экономическими факторами. Если основное внимание уделять стоимости изделия, то найти оптимальное решение весьма сложно. Основное для профильного изделия – это его назначение. Именно оно определяет и выбор материала, и технологию его производства. Наиболее общие требования, предъявляемые потребителями профильных изделий, следующие:

- 1) возможность использования пластмассового изделия в различных сборных конструкциях;
- 2) стабильность формы и размеров профиля при эксплуатации;
- 3) определенные механические показатели (прочность на изгиб, растяжение, на удар и т. д.);
- 4) эстетичный внешний вид, цвет изделия, способность окрашиваться и отражать свет и т. д.;
- 5) стоимость изделия;
- 6) стойкость к внешним воздействиям (погодостойкость, стойкость к солнечной радиации, стойкость к высоким и низким температурам, химстойкость и т. д.);
- 7) обрабатываемость изделия (сварка, склеивание, механическая обработка, способность к лакированию, нанесению печати, способность к декорированию и т. д.);
- 8) безопасность применения (огнестойкость, запас прочности, диэлектрические показатели, стойкость к растрескиванию под нагрузкой и т. д.).

Принимая во внимание эти требования, изготовитель профилей должен, прежде всего, решить две наиболее ответственные задачи: подобрать технологичную конструкцию профиля, учитывающую его назначение; определить материал для изготовления изделия. Если марка материала задана, то следует проверить, пригодна ли она для данного случая.

Технологичность конструкции профиля. В отличие от производства профильных изделий из металлов, керамики и пр., производство пластмассовых изделий имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать переработчикам пластмасс. Особое внимание следует уделять конструкции пластмассового изделия вследствие проявления при переработке полимерных материалов вязкоупругости, а также учитывать теплопроводность пластмасс, высокий коэффициент термического расширения, ограниченных жесткости

и прочности, способность к значительной ползучести и к накоплению при переработке остаточных напряжений. Наиболее трудной первоочередной задачей является необходимость приспособить форму профиля к выполнению его функциональной задачи в течение заданного срока службы, не забывая при этом о достижении максимально возможной производительности процесса. Поперечное сечение профиля следует выбирать, по возможности, простым. С точки зрения получения эстетичного внешнего вида изделия нет необходимости применения в конструкции перемычек или ребер, стенок большой толщины или криволинейных поверхностей (рис. 2.99, *а, в, ж*).

Поперечное сечение профиля должно, по возможности, способствовать сохранению формоустойчивости экструдата на выходе расплава из головки.

По мере возможности следует избегать стыков в изделии, поскольку в этих местах скорости течения отличаются от скоростей на других участках, вследствие чего возникают затруднения с равномерным охлаждением профиля и устранением утяжек или коробления (рис. 2.99, *б, в, д, ж*).

С точки зрения обеспечения равномерного выхода расплава по поперечному сечению формующего инструмента и уменьшения опасности коробления изделия предпочтение следует отдавать профилям с одинаковой толщиной стенки участков (рис. 2.99, *е, 2.100*).

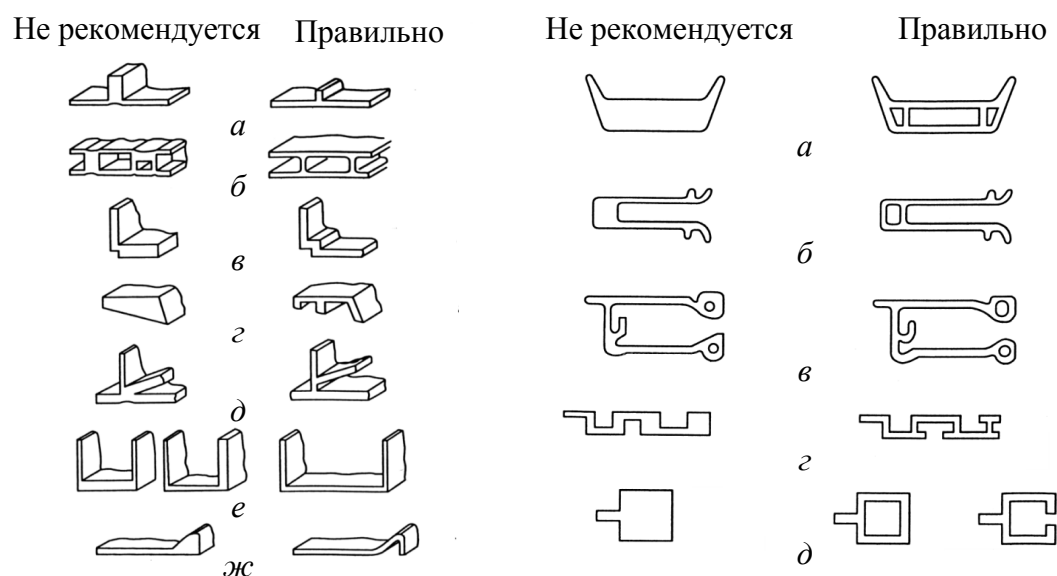


Рис. 2.99. Рекомендации по изменению формы профиля для получения технологичной конструкции

Рис. 2.100. Рекомендации по изменению нетехнологичной формы профиля

Полости в изделии не должны располагаться слишком близко друг к другу и не быть малых размеров. В последнем случае возникают трудности с изготовлением деталей, формирующих полости, (рис. 2.99, б). Для полых полостей следует ограничивать количество перегородок. Толщина стенок перегородок должна быть примерно на 30% меньше, чем у внешней стенки. В противном случае вследствие неравномерного охлаждения могут возникать утяжины или коробление профиля.

Выступы или ребра на наружной поверхности профиля следует делать, по возможности, короче, поскольку они охлаждаются с обеих сторон. При длинных ребрах возможно неравномерное охлаждение участков изделия и его коробление. Кроме того, большие поверхности трения вызывают затруднения при калибровании (рис. 2.99, а). Выступы внутри полостей не должны превышать по длине толщину стенки профиля. Следует, по возможности, избегать полостей внутри полости (рис. 2.101).

Если различной или переменной толщины стенки избежать нельзя или в конструкции изделия обязательно должны быть ребра или выступы, то поперечное сечение профиля следует принимать симметричным. Это обеспечит равномерность охлаждения изделия. Изделия с круговой симметрией гарантировано от коробления, если толщина стенки везде одинакова.

Соединения нескольких ребер в одной точке следует избегать, поскольку скорость течения расплава в месте слияния потоков всегда выше, что приводит к короблению профиля при охлаждении. Выровнять сопротивления течению в таких случаях не всегда просто (рис. 2.99, д).

Следует избегать резких переходов в местах соединения участков профиля. Для большинства термопластичных материалов, проявляющих при переработке упругость расплавов, округления в углах образуются самопроизвольно. Наименьший радиус, который может быть получен для угла с наружной стороны, составляет 0,4 мм. Для углов с внутренней стороны минимально возможный радиус составляет 0,25 мм. Величина радиуса закругления зависит от толщины стенки изделия и экструдруемого материала. При экструзии

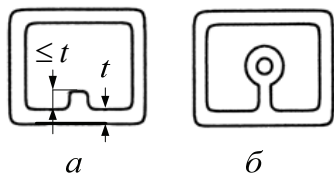


Рис. 2.101. Нетехнологичная (а) и рекомендуемая (б) форма профиля

образуются самопроизвольно. Наименьший радиус, который может быть получен для угла с наружной стороны, составляет 0,4 мм. Для углов с внутренней стороны минимально возможный радиус составляет 0,25 мм. Величина радиуса закругления зависит от толщины стенки изделия и экструдруемого материала. При экструзии

полиолефинов и полиамидов, жесткого и пластифицированного ПВХ, целлюлозных пластиков и сополимеров стирола (например, АБС) острые углы получить не проблема. На рис. 2.102 показаны рекомендуемые радиусы округления в углах профиля в зависимости от толщины стенки изделия.

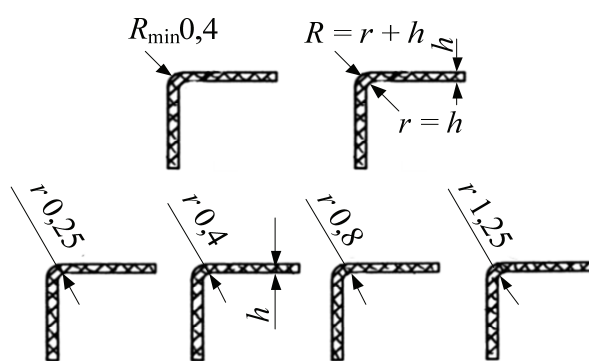


Рис. 2.102. Радиусы скругления в углах пластмассовых профилей

Разумеется, приведенные выше рекомендации по конструированию профилей не охватывают всех возможных форм поперечных сечений. Они лишь являются базой для выбора оптимальной геометрии изделия как с точки зрения изготовления, так и с позиций эксплуатации профиля.

2.10. Точность изготовления деталей из пластмасс

2.10.1. Конструкции изделий и остаточные напряжения

В зависимости от требований эксплуатации уровень качества детали может реально выражаться различными параметрами – точностью размеров, чистотой поверхности, внешним видом, прочностными показателями и т. д. Однако практически все эти параметры определяются напряженным состоянием материала детали после ее изготовления и изменениями в процессе хранения и испытаний. Таким образом, напряженное состояние материала

детали объективно отражает общий уровень качества детали. Это состояние характеризуется собственными напряжениями, называемыми также внутренними или остаточными. Собственные напряжения являются упругими напряжениями внутри твердого ненагруженного тела. Они возникают в тех случаях, когда в поперечном и продольном сечениях тела появляются неравномерные деформации или изменения объема и формы. Собственные напряжения взаимно уравниваются – общая равнодействующая и результирующий момент в каждой данной точке имеют нулевые значения.

По характеру происхождения собственные напряжения могут быть разделены на следующие:

1) временные, исчезающие после удаления вызвавшей их причины (например, термические напряжения из-за неравенства температуры в различных частях детали, исчезающие после выравнивания температур);

2) остаточные, остающиеся в теле детали после удаления вызвавших их причин.

Для деталей из пластмасс характерными являются остаточные напряжения первого рода, т. е. такие, которые уравниваются в областях, имеющих размеры одного порядка с размерами тела детали. Эти напряжения вызываются неравномерным распределением массы, неоднородными силовыми и температурными полями внутри детали во время ее образования.

Принципиально любой процесс формования пластмассовой детали приводит к образованию остаточных напряжений. В настоящее

время остаточные напряжения в пластмассовых деталях классифицируются по видам: ориентационные, термические, диффузионные, напряжения армирования.

Исследования причин возникновения остаточных напряжений и их проявление в зависимости от конструкции детали, несмотря на внимание к этому вопросу, еще не позволяют предложить общие

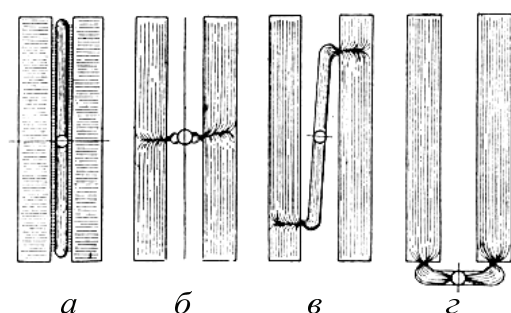


Рис. 2.103. Варианты расположения литников при изготовлении стандартных брусков для испытания свойств пластмасс

рекомендации по учету этого важного фактора при конструировании; они дают основание лишь для качественного анализа вопроса.

Ориентационные остаточные напряжения в значительной степени зависят от конструкции детали, количества и расположения мест впуска расплава в форму или общего направления движения материала. Рис. 2.103 хорошо иллюстрирует это положение. Первой причиной возникновения ориентационных напряжений является течение материала по одному или двум направлениям (одно- или двумерное течение). При этом в направлении потока за счет трения расплава о стенки металлической формы, а также от внутреннего трения между слоями возникает разность скоростей, потока по сечению. Напряжения сдвига вызывают деформацию макромолекул и их ориентацию, которая фиксируется при застывании расплава. Если происходит двумерное течение, поток расплава расширяется перпендикулярно направлению его движения. Пример такого течения – заполнение формы диска от литника, расположенного по центру. Фронт потока в любой момент заполнения формы представляет собой дугу с центром у литника. Расширение расплава происходит неравномерно по сечению. После смачивания стенки формы расплав около нее начинает охлаждаться и застывать, в то время как новые порции расплава будут передвигаться по застывшему слою и одновременно расширяться. Это приводит к возникновению сдвиговых напряжений в направлении, перпендикулярном основному направлению течения потока. Возникает двухосная ориентация материала в теле детали, причем доминирующей оказывается продольная ориентация. Следовательно, второй причиной, обуславливающей остаточный характер ориентационных напряжений, является быстрое охлаждение (при литье под давлением, экструзии) и затвердевание материала после формования.

Наиболее отчетливо возникновение ориентационных напряжений проявляется при литье под давлением термопластов типа полистирола, полиметилметакрилата и т. п. Было установлено, что у поверхности исследуемых образцов ориентация молекулярных структур выражена наиболее ярко, затем она снижается по направлению к центру поперечного сечения. В центре всегда наблюдается незначительная ориентация, материал здесь может быть признан изотропным. Это объясняется протеканием при медленном застывании расплава релаксационных явлений, обусловленных броуновским движением частиц материала. Подобная ориентация наблюдается

и в тех деталях, конструкция которых обеспечивает расплаву достаточно короткий путь течения. При более длинном пути потока ориентационные явления существенно усложняются.

Наибольшее напряжение сдвига наблюдается у стенки формы. Выделяющееся при этом тепло отводится через стенку формы. Только на определенном расстоянии от стенки тепло уже полностью не отводится, вязкость расплава понижается, и в этой области ориентация материала проявляется меньше.

Величина ориентационных напряжений зависит от двух обстоятельств. Первое – это уже рассмотренные напряжения от «замораживания» ориентированных молекул с образованием неравновесного объема. Второе – напряжения, связанные с изменением конформаций молекул и вызывающие деформацию только части объема материала.

При любом виде течения расплава существуют молекулярные перемещения. Происходит изменение положения молекул (как целой структурной единицы) из-за изменения вязкости вещества, что приводит к созданию термодинамически неравновесной структуры, так как при этом вдоль линии течения будет повернуто больше молекул, чем в случае равновесного распределения энергии теплового движения по объему вещества; при резком охлаждении неравновесное состояние фиксируется по всему сечению детали. Кроме того, происходит растягивание единичных молекул с увеличением расстояния между их концами, что приводит к уменьшению гибкости молекулярных цепей. Такое термодинамическое состояние также «замораживается».

Переход объема полимера в равновесное состояние определяется температурными условиями. При нагревании отформованной детали (образца) в интервале между температурами стеклования и текучести материала для каждого значения температуры за определенный промежуток времени нагревания объем (деформация) восстанавливается на определенную величину. Это чисто релаксационный процесс, и его скорость (время релаксации) представляется экспоненциальной функцией температуры нагревания.

В общем виде процесс восстановления описывается следующим уравнением:

$$T = Ae^{\alpha \Delta l}, \quad (2.22)$$

где T – температура нагревания образца; A и α – постоянные, зависящие от материала и условий формования; Δl – усадка образца после нагревания при температуре T .

Параметр A с физической точки зрения является температурой отпуска ориентационных остаточных напряжений. Количественной мерой этих напряжений при условии полной релаксации является величина Δl , зная которую можно определить остаточные напряжения по кривой растяжения данного материала.

Термические остаточные напряжения возникают в теле детали из-за того, что изменения объема массы (или линейных размеров) детали в связи с изменением температуры не могут происходить свободно. Охлаждение пластмассовой детали в процессе формования (литья под давлением) или после извлечения из формы (прессования) сопровождается термоударом. Значительное различие в величинах коэффициентов линейного термического расширения материала формы и детали приводит к существенным объемным изменениям детали. Образование твердой наружной оболочки раньше, чем полностью отверждается вся масса по сечению детали, в свою очередь, препятствует тому, чтобы изменения объема протекали свободно, без затруднений. В результате, как правило, внутренняя часть детали оказывается растянутой, а наружная – сжатой. Сжимающие напряжения у поверхности вызывают коробление детали, образование утяжин и т. д. Растягивающие термические напряжения приводят к возникновению усадочных раковин, пустот.

Диффузионные остаточные напряжения возникают при поглощении или потере влаги полимерным материалом детали. Они обуславливаются разностью коэффициентов линейного термического расширения соседних слоев материала, в которых концентрации жидкости различны вдоль какой-либо линейной координаты. Поскольку одновременно следует считаться с явлением миграции влаги внутри тела детали, можно ожидать возникновения дополнительных остаточных напряжений при миграции жидкостей в течение всего периода до насыщения, а для замкнутых систем – и после насыщения. Для количественного определения диффузионных остаточных напряжений необходимо знать функцию распределения концентрации жидкости по линейной координате, а также коэффициенты диффузии материала.

Остаточные напряжения армирования также обуславливаются в основном разностью коэффициентов линейного термического расширения материала металлической (как правило) арматуры и пластмассы.

В реальных условиях из-за сложности отдельного установления и анализа причин и результатов проявления остаточных напряжений в конкретной пластмассовой детали необходимо оценивать суммарный эффект. При этом практика подтверждает доминирующее влияние факторов формы и размеров детали. Косвенно это проявляется, например, в различной величине усадочной деформации разнообразных деталей, к тому же неравномерной в разных направлениях для одной и той же детали. Усадочная деформация детали отличается от усадки материала, определяемой с целью сравнения технологических свойств.

При оценке эффекта суммарного воздействия остаточных напряжений в теле детали необходимо принимать во внимание взаимодействие различных видов остаточных напряжений. Например, увеличение толщины стенки детали (образца) и температуры расплава при литье под давлением повышает уровень термических напряжений и снижает влияние ориентационных напряжений. Вообще влияние технологических параметров процессов переработки на уровень остаточных напряжений при прочих равных условиях (т. е. при неизменной конструкции) может оказаться весьма значительным.

Существует сравнительно большое количество способов определения суммарных остаточных напряжений. Одни из них основаны на разрушении образцов (методы последовательного удаления слоев материала; высверливания отверстий, растачивания и т. п.), другие – на оценке физических свойств материала (поляризационно-оптический, рентгеновский, сравнения твердости, радиополяризационный и др.). Применение любого из этих способов связано с необходимостью обрабатывать результаты экспериментов по определенным расчетно-аналитическим методикам.

2.10.2. Точность и взаимозаменяемость изделий

Требования, предъявляемые к точности изделий из пластмасс, являются одними из самых главных, определяющими для проектирования формообразующих деталей, формующего инструмента в целом. Понятие «точность» здесь отнесено только к размерным параметрам изделия.

Функциональная точность изделий устанавливается исходя из условий их эксплуатации; она должна сохраняться в заданных

пределах, т. е. функциональных допусках, в течение всего периода работы изделия.

Перед проектированием механизмов, машин, приборов прежде всего устанавливают функциональные требования к ним (мощность, производительность, точность и т. д.). Эти функциональные требования определяют конструкцию изделия в целом, а также отдельных его сопряжений. Разрабатывая конструкцию какого-либо сопряжения, необходимо не только определить материал изделий, рассчитать их размеры, установить необходимость механической и термической обработки, но и правильно выбрать посадки и допуски для сопрягаемых размеров изделий.

Установленный функциональный допуск посадки $T_{ф(п)}$ должен обеспечить требуемую надежность и долговечность данного сопряжения. Затем $T_{ф(п)}$ разделяют на две части: одну используют для компенсации погрешностей непосредственно в процессе сборки – допуск $T_{сб(п)}$, а другую – на создание запаса точности:

$$T_{ф(п)} = T_{сб(п)} + T_{з.т(п)}. \quad (2.23)$$

Гарантированный запас точности подвижных сопряжений или кинематических пар является эксплуатационным допуском зазора. Он должен определяться исходя из допустимого изменения выходных эксплуатационных параметров, обеспечения надежности и долговечности сопряжения, узла.

Гарантированный запас точности неподвижных сопряжений является эксплуатационным допуском натяга и должен определяться исходя из возможного увеличения рабочих нагрузок, скоростей, ускорений, повышения рабочей температуры, изменения размеров с течением времени и т. д.

Назначенные конструктором допуски, называемые поэтому конструктивными, должны ограничивать все погрешности, которые могут быть у изделий, поступающих на сборку.

$$T_k \geq \Delta_{\Sigma} = \Delta_T + \Delta_{ук} + \Delta_{хр} + \Delta_{кон}, \quad (2.24)$$

где Δ_T – суммарная технологическая погрешность, возникающая в процессе изготовления изделий из пластмасс; $\Delta_{ук}$ – погрешность за счет технологических уклонов; $\Delta_{хр}$ – погрешность, возникающая при хранении изделий до их сборки и начала эксплуатации; $\Delta_{кон}$ – погрешность, возникающая при контроле размеров (метрологические погрешности).

Задача выбора конструкторских допусков, обеспечивающих взаимозаменяемость изделий, относится к проблеме применения изделий из пластмасс, и этот выбор окончательно проводят по ГОСТ 25349–88 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков деталей из пластмасс». Стандарт устанавливает поля допусков и предельных отклонений для гладких сопрягаемых и несопрягаемых элементов изделий с номинальными размерами от 1 до 3150 мм (табл. 2.20).

Технологическая точность гладких элементов изделий. Отдельные составляющие общей погрешности Δ_{Σ} в ряде случаев могут не учитываться (т. е. они не «проявляются»): это относится к погрешности от технологического уклона (поскольку последние не всегда и не на все поверхности изделия назначаются) и к погрешности, возникающей при хранении изделий (например, для размеров несопрягаемых неотвественного назначения и в других случаях).

Таблица 2.20

**Классификация эксплуатационных и сборочных требований
к размерам изделий из пластмасс**

Типы размеров	Характерные особенности	Требования, предъявляемые к точности изготовления (калитет)	Примеры
Сопрягаемые ответственного назначения	Определенная посадка и определенные эксплуатационные показатели	Высокие (IT8–10)	Сопряжения типа вал – отверстие, в подшипниках скольжения и т. д.
Несопрягаемые ответственного назначения	Определенные эксплуатационные показатели	Высокие (IT10–13)	Размеры пера пропеллера и других деталей специального назначения
Сопрягаемые неотвественного назначения	Определенная посадка	Невысокие в зависимости от конкретных условий (IT14)	Посадочные места некоторых крышек и корпусов
Несопрягаемые неотвественного назначения	–	Невысокие, в соответствии с экономически целесообразной точностью изготовления (IT15 и грубее)	Несопрягаемые размеры, а также размеры элементов, подвергающихся дополнительной обработке методами со снятием стружки

Суммарная технологическая погрешность Δ_T зависит от большого числа погрешностей, прежде всего колебания усадки и колебаний технологических параметров процесса формования, приводящих к изменению самой усадки и ее рассеянию; неточности изготовления и износа формообразующих деталей, колебаний параметров окружающей среды и т. д. Точность тех элементов изделия, формование которых связано с точностью взаимного положения формующих деталей в сомкнутом состоянии, зависит от дополнительной погрешности – толщины облоя (т. е. излишков массы, затекающей в вязкотекучем состоянии в зазоры между перемещающимися при смыкании – размыкании формообразующими деталями), погрешности установки формующих знаков и др. Суммарную технологическую погрешность Δ_T определяют с учетом в каждом конкретном варианте характера влияния погрешностей (случайный или систематический) и применения известного правила: $\Delta_T = \sum \Delta_{\text{сист}} + \sqrt{\sum \Delta_{\text{случ}}^2}$. Следует отметить, что характер влияния составляющей погрешности может меняться, например, систематическая погрешность от неточности изготовления, размеров формующих деталей в одногнездной форме переходит в разряд случайных для многогнездной формы (размеры гнезд невозможно выполнить абсолютно одинаковыми).

Итак, при изготовлении из пластмасс в замкнутых формах (прежде всего при прессовании и литье под давлением) различные элементы изделий оказываются неодинаковой точности (хотя все они получаются одновременно).

Суммарная технологическая погрешность Δ_T может быть нормирована (с позиций технико-экономической достижимой точности) на базе существующего технологического уровня. Для этого введено понятие технологического допуска $T \geq \Delta_T$, т. е. допуска, определяемого пределами рассеяния размерных параметров изделий при их изготовлении. Если неравенство не может быть обеспечено только формованием, то возможно использовать размерную разбраковку изделий, другие мероприятия, включая механическую обработку изделий; тогда суммарная технологическая погрешность получает, новое значение – Δ'_T , и потребуется, чтобы $T = \Delta'_T < \Delta_T$. В табл. 2.21 показаны схемы методов, применяемых для обеспечения заданной точности размеров изделий, уменьшения суммарной технологической погрешности и, следовательно, уменьшения технологического допуска. При этом можно принять, что $\Delta_{\text{хр}} = (0,10-0,25)T$.

Таблица 2.21

Методы обеспечения заданной точности размеров изделий

Существующая общая погрешность Δ_{Σ}		$\Delta_{ук}$	T	$\Delta_{кон}$	$\Delta_{хр}$
Заданная точность (конструкторский допуск T_k)		T_k			
Методы обеспечения заданной точности	Конструкционные, технологические, метрологические и организационно-технические	$\Delta_{ук}$	T'_t	$\Delta_{кон}$	Δ_x
	Механическая доработка		T_d	$\Delta_{кон}$	Δ_x
	Отбраковка перед сборкой	$\Delta_{ук}$	T''_t		
	Селективная сборка	$\Delta_{ук}$	T_1		
			T_2		

Примечание. $\Delta_{ук}$ – погрешность от технологического уклона; T – существующий технологический допуск; T_d – технологический допуск на механическую доработку; T'_t – технологический допуск после применения конструкционных, технологических и метрологических мероприятий; T''_t – технологический допуск с использованием отбраковки перед сборкой; T_1, T_2 – групповые технологические допуски при селективной сборке; $\Delta_{кон}$ – погрешность контроля размеров изделий; $\Delta_{хр}$ – погрешность, возникающая при хранении изделий.

Технологические допуски предназначаются для оценки точности формования изделий из пластмасс; установления допусков на межоперационные размеры и расчета припусков на отдельные элементы заготовок, подвергающихся механической обработке; расчета формообразующих деталей, их исполнительных размеров.

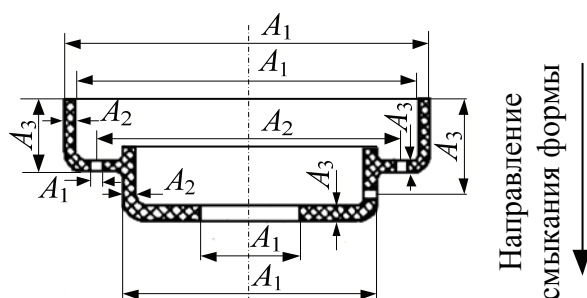


Рис. 2.104. Типы размеров изделий из пластмасс, изготавливаемых в замкнутых формах прессованием и литьем под давлением

На рис. 2.104 указаны типы размеров изделий из пластмасс, изготавливаемых в замкнутых формах (прессованием, литьем под давлением).

Наиболее высокую точность приобретают размеры A_1 , определяемые размерами формующих элементов (матрицы, пуансона, знака),

но не зависящие от взаимного расположения последних. По размерам A_1 предпочтительно собирать изделия друг с другом, т. е. образовывать сопряжения. К размерам типа A_1 относятся диаметры отверстий и валов. Наименее точными являются размеры A_3 , определяемые взаимным расположением формирующих деталей, в направлении смыкания формы, зависящие от облоя.

Размеры A_2 занимают промежуточное положение, они определяются взаимным расположением формирующих элементов в направлении, перпендикулярном смыканию формы (например, толщина боковых стенок изделий). Следовательно, и технологические допуски, назначенные на размеры разных типов, должны отличаться друг от друга.

Для выбора технологических допусков размеров изделий из пластмасс принят один универсальный критерий – колебание усадки ΔS , поскольку именно погрешность от колебания усадки в той или иной степени влияет на точность любого типа размера изделия.

2.10.3. Усадка и ее колебание при формовании изделий

Первоначально выбор качеств размеров пластмассовых изделий производят по критерию ΔS материала; в справочниках приводятся значения усадки S , установленные на стандартных образцах в соответствии с ГОСТ 18616–80 «Пластмассы. Метод определения усадки». Колебание усадки ΔS принимают как разброс значений S , т. е. $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$.

Схема образования размера пластмассового изделия приведена на рис. 2.105.

Технологическая усадка – это абсолютное или относительное уменьшение размеров изделия по сравнению с соответствующими размерами оформляющей полости формы, происходящее ко времени охлаждения извлеченного из формы изделия до температуры окружающей среды. В технической литературе, на производстве часто опускают определение «технологическая», но именно эту усадку имеют в виду.

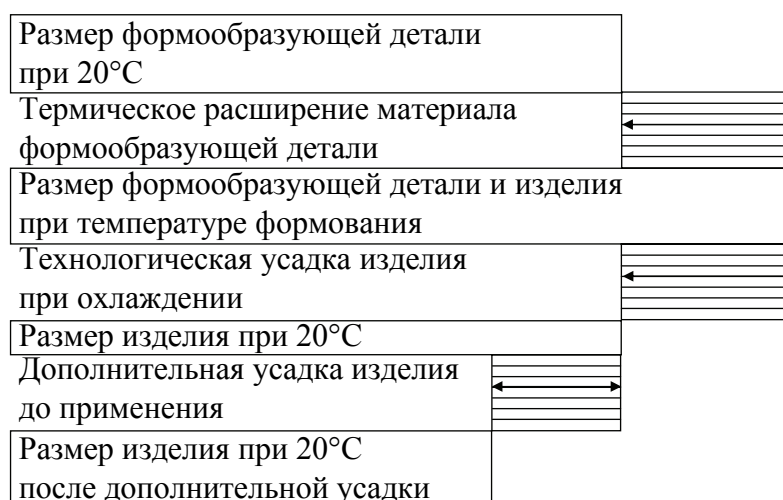


Рис. 2.105. Схема образования размера пластмассового изделия с учетом усадки

Кинетика технологической (т. е. связанной с переработкой) усадки описывается экспоненциальной зависимостью:

$$\Delta L_i = \Delta L_{0i} (1 - e^{-\gamma \tau}); \quad L_i = L_{0i} - \Delta L_i, \quad (2.25)$$

где ΔL_i – отклонение размера; ΔL_{0i} – коэффициент пропорциональности; L_i – измененный номинальный размер изделия; L_{0i} – первоначальное номинальное значение размера; τ – продолжительность процесса; γ – коэффициент, характеризующий физические свойства материала.

Если сравнивают размеры горячей формы и полностью остывшего изделия, то получают действительную линейную технологическую усадку S_d , а если сравнивают размеры формы и изделий при $20 \pm 2^\circ\text{C}$, то получают удобную для практики расчетную линейную технологическую усадку S . Учет технологической усадки, как отмечалось, необходим при конструировании формующего инструмента (для расчета исполнительных размеров форм) и изделий (для оценки достижимой точности изготовления по колебанию усадки); определение технологической усадки проводят для сравнительной оценки технологических свойств разных типов, марок и партий полимерных материалов при контрольных, приемочных и арбитражных испытаниях.

Эксплуатационная усадка – это абсолютное или относительное уменьшение размеров по сравнению с первоначальными, происходящее в результате воздействия соответствующих внешних факторов (температуры, среды и т. д.) в течение определенного времени

работы изделия (частный случай – длительное хранение изделия). Кинетика эксплуатационной усадки (в общем случае – закономерности размерных изменений изделий) описывается в зависимости от действующих доминирующих процессов по линейному ($\Delta L_i = \Delta L_{0i} \tau$ для теплового расширения, размерного износа), параболическому ($\Delta L_i = \Delta L_{0i} \tau^2$ – для водопоглощения), экспоненциальному (для различных процессов, связанных со старением) законам.

Учет эксплуатационной усадки необходим для сравнительной оценки работоспособности изделий (при определении величины компенсации зазора или натяга соответственно в подвижном или неподвижном соединении деталей), для предпочтительного выбора пластмассы в качестве конструкционного материала (при заданных требованиях к точности и прочности деталей).

Усадочные изменения, происходящие при длительном хранении, устанавливают по так называемой дополнительной усадке (абсолютное или относительное изменение размеров перед и после термообработки при заданных температуре и времени).

Стандартные образцы, как метрологическая мера, позволяют, получать сравнительные данные, традиционно считающиеся усадкой материала. На изделиях наблюдают усадочную деформацию, которая проявляется в каждом случае специфически, зависит от остаточных напряжений, действующих в изделии, и, как правило, отличается от усадки материала. На изделиях можно выделить участки свободно или затрудненно усаживающиеся. Усадочная деформация (или усадка) изделия, а также колебания его усадки требуются для решения конкретных инженерных задач по повышению прочности и точности изделий.

Технологическая усадка по существу связана со структурными превращениями, происходящими с пластмассой, при формовании изделий. В свою очередь, структурные превращения зависят от процессов в замкнутой полости формы, приводящих к изменению объема материала. Для термопластов это физические процессы, описываемые, например, уравнением состояния вида

$$(p + \pi)(v_0 - b) = RT, \quad (2.26)$$

где p – внешнее давление; v_0 – удельный объем образца; π , b – константы; R – универсальная газовая постоянная.

Уравнение состояния не учитывает таких характерных свойств полимерных материалов, как объемная вязкость, способность к ориентации, релаксации и, главное, влияние фактора времени на изменение

объема и размеров отливок. Оно учитывает только объемное или среднее линейное изменение массы. Но в литьевых изделиях усадка в значительной степени зависит от направления течения расплава, а также от характерных параметров процесса литья под давлением.

Для реактопластов усадка зависит от типа связующего и наполнителя (состав, консистенция), их соотношения в композиции, а также других ингредиентов; от условий предварительной подготовки материала к формованию и режимов формования. Усадка связана с процессами, происходящими в замкнутом объеме литьевой камеры (цилиндра) и в форме; в литьевой камере – единовременным расплавлением и сближением частиц «рыхлого» расплава и уменьшением пористости, а затем выдавливанием (и ориентацией) расплава по литниковым каналам в формующую полость; в форме – пластической деформацией частиц сжатием (уплотнением) расплава в монолитную массу, выделением при этом летучих; отверждение (под действием температуры и давления) связующего, сопровождающееся уменьшением его объема и дополнительным выделением паров воды и газов (так называемая химическая, или релаксационная, усадка).

Значительные объемные изменения реактопластов происходят за короткий период (несколько секунд) размыкания формы и извлечения изделия: после снятия давления (при условии, что оно действует на массу, пока форма сомкнута) проявляется «память» материала как реакция на сжатие по линии приложения давления и ориентацию частиц наполнителя. Кроме того, в этот момент изделие испытывает термоудар (разница температур около 150–180°C) и начинается неравномерное охлаждение. Отмеченные причины вызывают анизотропию усадки реактопластов.

Итак, определение усадочных характеристик имеет важное самостоятельное значение: 1) при конструировании и изготовлении пластмассовых изделий, когда решается вопрос об их точности, для чего важно установить, кроме абсолютной величины, еще и колебание значений усадки; 2) конструировании формующего инструмента, когда усадка материала компенсируется определенным увеличением размера формующих элементов относительно соответствующих размеров изделия; 3) оценке прочности пластмассовых изделий, поскольку величина усадки характеризует внутренние усадочные напряжения, возникающие во время формования и вызывающие трещины,

разрывы, коробление; 4) оценке эксплуатационных качеств пластмасс, когда решается вопрос о величине компенсации зазора (натяга) в сопряжении вследствие размерной нестабильности изделий, для чего важно установить на образцах, кроме величины усадки при формовании, являющейся первичной, значение дополнительной усадки, возникающей в определенных эксплуатационных условиях; 5) выборе пластмассы в качестве конструкционного материала, когда предъявляются определенные требования к точности и прочности изделий, для чего производится сравнительная оценка величины и колебания усадки; 6) проведении контрольных, приемочных и арбитражных испытаний полимерных материалов.

Резьба для изделий из пластмасс может иметь принципиально любой профиль; в производстве наиболее широко распространены метрические резьбы. Эти резьбы для диаметров от 1 до 180 мм регламентированы ГОСТ 11709–81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая для деталей из пластмасс», в котором нормируются профиль, основные размеры, допуски, предельные отклонения и обозначения резьбы.

Номинальный профиль метрической резьбы на изделия из пластмасс по ГОСТ 9150–81 может быть получен как формованием, так и резанием. При массовом и крупносерийном производстве формование (прессование, литье под давлением) наиболее экономично. Изготовление резьбы на изделии из пластмасс резанием целесообразно для изделий из листовых материалов и прутков, в единичном производстве, при выполнении ремонтных работ, в резьбах с размерами диаметром до 3 мм для того, чтобы не применять на производстве резьбовых знаков в формах, обеспечения высокой точности (6-й, 7-й степеней) при больших и нормальных длинах свинчивания. Резьба в этом случае или нарезается полностью, или «калибруется» после формования ее литьем или прессованием. Наиболее целесообразно изготавливать резанием внутреннюю резьбу с применением метчиков.

Диаметры и шаги резьб деталей из пластмасс принимаются по ГОСТ 8724–81, но при этом не допускается применять для пластмассовых изделий резьбы с шагами 0,50; 0,75; 1 мм для диаметров свыше 16, 18 и 36 мм соответственно; не допускается также применение мелких шагов для диаметров менее 4 мм. Основные размеры резьб с крупными и мелкими шагами для изделий из пластмасс

не отличаются от стандартных и принимаются по ГОСТ 9150–81. Основные положения системы допусков, обозначения полей допусков, числовые значения допусков и основных отклонений, длины свинчивания и форма впадины резьбы принимаются по ГОСТ 16093–70, как и поля допусков металлических деталей, сопрягаемых с пластмассовыми. Однако для диаметров от 3 до 8 мм допускается применение особо крупных шагов, причем в равной степени в парах металл – пластмасса и пластмасса – пластмасса, т. е. особо крупные шаги выполняют и в резьбе металлических деталей резьбового соединения.

2.10.4. Оценка точности при литье под давлением и прессовании

При литье под давлением и прессовании под воздействием температуры и давления материал приобретает очертания рабочей полости формы. Процесс формообразования заканчивается после охлаждения детали (в форме или вне ее) до нормальной температуры и первоначальной стабилизации размеров. Происходящая усадка уменьшает деталь в размерах. Но и после полного охлаждения размеры детали не остаются постоянными, они изменяются даже при хранении деталей в нормальных условиях.

Особенностью указанных процессов является также и то, что детали из пластмасс, изготовленные рассматриваемыми методами, имеют на некоторых поверхностях уклоны, искажающие их форму.

Таким образом, можно выделить следующие три группы погрешностей размеров деталей из пластмасс, полученных литьем под давлением и прессованием:

- 1) возникающие непосредственно в процессе изготовления деталей (технологическая погрешность) Δ_T ;
- 2) получаемые за счет технологических уклонов Δ_{Ty} ;
- 3) возникающие при хранении деталей $\Delta_{хр}$.

К первой группе относятся погрешности, возникающие в процессе изготовления детали с момента заполнения формы материалом до охлаждения детали и первоначальной стабилизации ее размеров. По данным исследований, этот процесс длится не менее 3 ч и зависит от формы детали и требуемой точности.

Наиболее характерными погрешностями при формообразовании являются следующие:

- возникающие за счет неточности изготовления оформляющих деталей элементов формы $\Delta_{\text{изг.ф}}$;
- получаемые в процессе охлаждения детали $\Delta_{\text{охл}}$;
- возникающие за счет разъема формы $\Delta_{\text{обл}}$;
- получаемые за счет подвижных элементов формы $\Delta_{\text{п.э}}$;
- возникающие вследствие износа формы $\Delta_{\text{изн.ф}}$;
- погрешности методов измерения деталей из пластмасс $\Delta_{\text{изм}}$;
- другие погрешности $\Delta_{\text{др}}$.

Погрешности второй группы получают за счет величины технологического уклона, которая оказывает существенное влияние на размерную точность элементов детали, лежащих в плоскостях, перпендикулярных к направлению усилия замыкания формы или к направлению перемещения составных частей сложных форм.

Определение погрешности, возникающей при хранении деталей $\Delta_{\text{хр}}$, расчетным методом затруднено, так как на ее величину оказывает влияние не только материал, конфигурация детали и условия ее изготовления, но и температура, влажность помещения, продолжительность хранения деталей.

Ориентировочно значения $\Delta_{\text{хр}}$ можно принимать равными 10–20% от $\Delta_{\text{т}}$, если детали до сборки хранились в помещении с влажностью воздуха, равной 40–70%, и при нормальной температуре. Кроме того, необходима также определенная выдержка деталей перед сборкой. Время выдержки зависит в основном от требуемой точности. Для определения погрешности размеров деталей из пластмасс, получаемых литьем под давлением и прессованием, необходимо учитывать все приведенные выше погрешности. В общем случае получаем:

$$\Delta_{\text{общ}} = \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ту}} + \Delta_{\text{хр}}. \quad (2.27)$$

При определении погрешности $\Delta_{\text{общ}}$ вместо формулы можно пользоваться другой, изменив в ней технологическую погрешность $\Delta_{\text{т}}$ технологическим допуском $\delta_{\text{т}}$. Тогда

$$\Delta_{\text{общ}} = \delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ту}} + \Delta_{\text{хр}}. \quad (2.28)$$

Или, полагая, что

$$\Delta_{\text{хр}} = (0,1-0,2)\Delta_{\text{т}}, \quad (2.29)$$

имеем при $\Delta_{\text{ту}} = 0$

$$\Delta_{\text{общ}} = (1,1-1,2) \delta_{\text{т}}. \quad (2.30)$$

Эта формула по сравнению с предыдущей несколько снижает точность результатов, но зато значительно упрощает расчеты. При сопоставлении конструктивных допусков δ с общей погрешностью изготовления $\Delta_{\text{общ}}$ необходимо соблюдать неравенство

$$\delta \geq (1,1-1,2)\delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ту}}. \quad (2.31)$$

Следует заметить, что практически достижимая точность изготовления деталей из пластмасс в настоящее время ограничена и не всегда удовлетворяет конструктивным требованиям. В этом случае, не уменьшая величину технологического допуска, требуемую точность можно обеспечить дополнительными организационно-техническими мероприятиями, например применением механической обработки резанием, отбраковкой, селективной сборкой и др. Для определения величины $\delta_{\text{т}}$ или погрешности $\Delta_{\text{т}}$ необходимо учитывать все основные факторы, вызывающие погрешности в процессе изготовления деталей, так как она является суммарной и ее величина определяется суммированием систематических и случайных погрешностей. В нашем случае к систематическим погрешностям относятся $\Delta_{\text{изг.ф}}$, $\Delta_{\text{изн.ф}}$, а к случайным $\Delta_{\text{охл}}$, $\Delta_{\text{обл}}$, $\Delta_{\text{п.э}}$, $\Delta_{\text{изм}}$, $\Delta_{\text{др}}$.

Технологический допуск $\delta_{\text{т}}$ может быть определен как расчетным методом, так и методом с использованием данных о технологических допусках, приведенных в ГОСТ 11710–81.

Вопросы повышения точности изготовления деталей из пластмасс при литье под давлением и прессовании должны решаться в каждом конкретном случае с учетом специфических особенностей как самих деталей, так и методов и условий их изготовления, при этом необходимо установить ту погрешность, которая составляет наиболее значительную часть в суммарной погрешности.

Так, при литье под давлением наибольшая доля в суммарной погрешности приходится на погрешность, вызываемую колебанием усадки при формообразовании, а также на погрешность, связанную с непостоянством температуры детали в момент ее извлечения из формы. При прессовании деталей из термореактивных пластмасс наибольшая доля суммарной погрешности приходится на колебание усадки. Если же деталь изготавливается из пластмассы с волокнистым наполнителем и размер относится к элементу детали, оформляемому в двух частях пресс-формы, расположенному перпендикулярно направлению разъема, то наибольшая доля погрешности приходится на $\Delta_{\text{обл}}$.

Возможность уменьшения таких доминирующих погрешностей зависит не только от качества сырья и условий его хранения, но и от правильного конструирования детали и правильного назначения и проведения технологического процесса.

При конструировании деталей из пластмасс следует руководствоваться определенными правилами, направленными на уменьшение величины и колебания усадки деталей. При прессовании усадка происходит в основном после извлечения деталей из пресс-форм, а при литье под давлением – во время выдержки в форме.

Толщина стенок деталей оказывает существенное влияние на точность их изготовления. Наличие в деталях резких переходов и местных утолщений вызывает неравномерную усадку, а также появление значительных внутренних напряжений, являющихся одновременно причиной образования вздутий, трещин и коробления. Все эти нежелательные явления объясняются главным образом неравномерностью протекания процессов затвердения пластмассы в форме и охлаждения деталей после их извлечения.

Весьма важным является выбор толщины стенок и дна детали, поскольку с увеличением толщины выше оптимальной прочность детали не увеличивается, но возрастают время выдержки детали в форме под давлением, расход материала и вероятность появления коробления детали. При этом в соседних более тонкостенных частях детали возникают дополнительные термические напряжения.

Наличие радиусов закруглений на наружных и внутренних поверхностях деталей из пластмасс является необходимым, так как они облегчают течение материала в форме, упрощают изготовление формы и способствуют уменьшению ее износа, извлечению детали после формообразования и улучшению внешнего вида детали. Рациональный выбор величин радиусов закруглений оказывает влияние на процесс усадки и, следовательно, на точность изготовления деталей. Это тем более очевидно, что наличие в детали резких переходов от одной поверхности к другой даже при одинаковой толщине стенок вызывает появление значительных внутренних напряжений, следствием которых являются коробление и другие виды отклонений от правильной геометрической формы.

От взаимного расположения отверстий в деталях зависит точность изготовления как самих отверстий, так и межосевых расстояний.

Усадка и ее колебание зависят от характера расположения отверстий на поверхности, их числа, а также от того, являются они сквозными или глухими.

Происходящее во время усадки перераспределение внутренних напряжений приводит в ряде случаев к короблению, овальности и другим отклонениям от правильной формы.

Расположение металлической арматуры непосредственно влияет на точность изготовления деталей из пластмасс, так как она сдерживает процесс усадки детали после извлечения ее из формы. Это в равной мере относится как к линейным размерам, так и к межосевым расстояниям. В то же время от рационального расположения арматуры зависит обеспечение геометрической формы деталей.

2.10.5. Оценка точности при пневмовакуумном формовании

Пневмовакуумное формование обычно применяется для изготовления относительно крупных деталей из листовых термопластов. Наибольшая точность размеров наблюдается там, где поверхность детали соприкасается с поверхностью формы. На противоположной поверхности детали из-за неравномерности вытяжки листа возникают большие отклонения от номинальных размеров. Поэтому при повышенных требованиях к точности наружных размеров необходимо применять формование в матрице, и наоборот, для точных внутренних размеров используется формование на пуансоне. В обоих случаях точность толщины стенки детали оказывается невысокой.

Детали, полученные пневмовакуумным формованием из листовых термопластов, во время охлаждения (предварительно лист разогревается до температуры размягчения полимера) уменьшаются в размерах. При формовании в матрице усадка детали больше, потому что пуансон препятствует усадке соответствующих элементов детали, но одновременно это затрудняет съем отформованной детали. Минимальная усадка, удовлетворительная разнотолщинность и стабильность размеров получаются при формовании способом натягивания на пуансон и при предварительной вытяжке сжатым воздухом. При недостаточном охлаждении детали в форме наблюдается

усадка вне формы, происходят коробление или поводка детали, т. е. возникает погрешность $\Delta_{\text{хр}}$.

Важным моментом с точки зрения точности изготовления деталей является равномерный разогрев заготовки. Этим также определяется качество детали и производительность процесса. Равномерный разогрев предполагает подбор интенсивности излучения нагревателей на различных участках листа таким образом, чтобы участки, которые попали под значительное утончение при формовании, нагревались меньше. С этой целью применяется экранирование. Колебание толщины стенок детали, отформованной из листа, разогретого с применением экранирования, составило 0,05 мм, в то время как для аналогичной детали, полученной из листа, разогретого обычным способом, оно больше – около 0,7 мм.

Повышение устойчивости размеров и обеспечение равномерности, сопровождаемое уменьшением внутренних напряжений, связано с увеличением средней температуры формования. Подобный эффект обнаруживается и при определенных величинах скорости вытяжки. При наибольшей скорости происходит чрезмерное утончение стенок в местах углублений и на углах формы. Скорость вытяжки непосредственно связана с температурой формования. Более тонкие листы требуют быстрой вытяжки, поскольку они охлаждаются быстрее.

Технологические особенности способов пневмовакуумного формования таковы, что при вытяжке листа создается анизотропия свойств, в том числе плотности, усадки, точности. Считается, что при правильном выборе температуры формования можно избежать эффекта анизотропии или уменьшить его, однако на практике с той же целью применяется специальная операция – двухосная вытяжка.

Степень вытяжки f в значительной мере определяет точность толщин детали. Она может быть подсчитана по формуле

$$f = 100 \left(\sqrt{\frac{a_{\text{к}}}{a_{\text{н}}}} - 1 \right); \quad (2.32)$$

$$a_{\text{к}} = \frac{a_{\text{н}}}{\left(\frac{L_{\text{к}} - L_{\text{н}}}{L_{\text{н}}} + 1 \right) \left(\frac{B_{\text{к}} - B_{\text{н}}}{B_{\text{н}}} + 1 \right)}, \quad (2.33)$$

где a_n, L_n, B_n – соответственно начальные значения толщины, длины и ширины листа; a_k, L_k, B_k – соответственно конечные значения толщины, длины и ширины листа после вытяжки.

Уравнение для a_k позволяет определить соотношение между утончением листа при двухосной вытяжке и удлинением вдоль осей.

Таким образом, для деталей, изготовленных пневмовакуумным формованием, можно записать уравнение для определения суммарной размерной погрешности:

$$\Delta_{\text{общ}} = \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{заг}} + \Delta_{\text{хр}}, \quad (2.34)$$

где $\Delta_{\text{заг}}$ – погрешность первоначальной толщины листа (заготовки).

В свою очередь, технологическая погрешность $\Delta_{\text{т}}$ включает в себя следующие погрешности, которые возникают за счет:

- неточности изготовления элементов формы $\Delta_{\text{изг.ф}}$;
- неточности эксплуатации формы (неплотное прилегание и др.) – $\Delta_{\text{эспл.ф}}$;
- охлаждения детали – $\Delta_{\text{охл}}$, причем $\Delta_{\text{охл}} = f(\Delta_t, \Delta_v, \Delta_b)$, где Δ_t – погрешность, которая возникает из-за неравномерного разогрева листа; Δ_v – погрешность из-за различия в скорости вытяжки; Δ_b – погрешность, возникающая вследствие влияния технологической операции вытяжки;
- погрешности методов измерения $\Delta_{\text{изм}}$;
- другие погрешности $\Delta_{\text{др}}$.

С учетом природы отмеченных погрешностей можно записать:

$$\Delta_{\text{т}} = \Delta_{\text{изг.ф}} + \Delta_{\text{эспл.ф}} + \sqrt{(\Delta_{\text{охл}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{др}}^2)}. \quad (2.35)$$

К общим рекомендациям по повышению точности деталей, изготавливаемых методами пневмовакуумного формования из листа, относятся следующие:

- повышение стабильности и равномерности разогрева листа с учетом расположения мест его утончения при формовании;
- выбор рационального значения степени вытяжки в зависимости от конструкции формы и условий формования;
- максимальный учет требований технологии при конструировании детали и формы для ее изготовления (наличие углов уклона, скруглений, достаточной опорной поверхности при закреплении листа и т. д.);
- подбор листовых заготовок с минимальным колебанием размеров по толщине и т. д.

2.10.6. Точность при экструзии

Экструзией изготавливаются разнообразные детали и изделия: трубы, листы, пленки, профили, которые могут быть объединены общим понятием – экструдат. Процесс получения экструдата размерно сложен, а качество экструдата (в том числе размерное) зависит от многочисленных факторов, находящихся в причинно-следственной зависимости. К ним относятся: неоднородность сырья, нестабильность технологических параметров экструзии, изменение условий калибрования и охлаждения экструдата; отклонение от нормальной работы основного оборудования, вспомогательных и тянущих устройств; дефекты экструдата вследствие пульсации процесса; погрешность методов и средств контроля.

Факторы материальные, технологические и конструктивные приводят в конечном счете к образованию следующих погрешностей, характерных для любого вида экструдата:

- от разбухания – $\Delta_{\text{разб}}$;
- температурной усадки – $\Delta_{\text{т.у}}$;
- структурной усадки материала – $\Delta_{\text{с.у}}$;
- релаксации внутренних напряжений – $\Delta_{\text{т}}$;
- колебания степени вытяжки – $\Delta_{\text{в}}$.

Таким образом, имеем:

$$\Delta_{\text{общ}} = \Delta_{\Sigma\text{инстр}} + \sqrt{(\Delta_{\text{разб}}^2 + \Delta_{\text{т.у}}^2 + \Delta_{\text{с.у}}^2 + \Delta_{\text{т}}^2 + \Delta_{\text{в}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2)}; \quad (2.36)$$

$$\Delta_{\Sigma\text{инстр}} = \sqrt{(\Delta_{\text{изг}}^2 + \Delta_{\text{э}}^2 + \Delta_{\text{изн}}^2)}, \quad (2.37)$$

где $\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность методов измерения экструдата; $\Delta_{\text{изг}}$ – погрешность, возникающая вследствие неточности изготовления оформляющего и калибрующего инструментов; $\Delta_{\text{э}}$ – погрешность, возникающая вследствие эксцентричной установки дорна и мундштука; $\Delta_{\text{изн}}$ – погрешность от износа формующего и калибрующего инструментов.

В реальных условиях массового производства, когда все погрешности проявляются как случайные, необходимо учитывать погрешности, вызываемые дефектами геометрической формы трубы $\Delta_{\text{ф}}$. Тогда

$$\Delta_{\text{полн}} = \sqrt{(\Delta_{\text{общ}}^2 + \Delta_{\text{ф}}^2)}. \quad (2.38)$$

Приведенные общие зависимости при оценке точности различных экструдатов должны конкретизироваться. Прежде всего необходимо установить вид связи суммарной погрешности основного размера экструдата (диаметра, толщины и т. д.) с номинальным его значением. Точность наружного диаметра пластмассовых труб, изготавливаемых экструзией, описывается уравнением

$$\delta_D = 0,012D + 0,3. \quad (2.39)$$

Для определения допуска толщины стенки S

$$\delta_S = 0,15S + 0,2. \quad (2.40)$$

При экструзии листов и пленок можно предполагать о проявлении подобного вида зависимости.

Способы повышения точности различных экструдированных деталей и изделий также различны. Например, определенный резерв при изготовлении труб имеется, если обеспечить контроль за разнотолщинностью: правильно центрировать мундштук относительно дорна, регулировать скорость отвода трубы и т. д.

Повышение точности толщины листа или пленки связано с обеспечением равномерности распределения температуры расплава по всей ширине экструзионной головки, уменьшением скорости вращения приемных устройств (полирующих валков) и т. д. Эти общие рекомендации должны рассматриваться с учетом зависимости технологии от качества исходного сырья. При этом должна учитываться необходимость существенного ограничения колебания реологических и структурных параметров.

При задании допусков на размеры следует обращать внимание на следующие вопросы.

1) Сопрягается ли профиль с другими деталями, как это осуществляется и каковы требования к взаимосвязи деталей?

2) Требуется ли относительное перемещение пластмассовых деталей при эксплуатации, как оно осуществляется, на какой длине наблюдается контакт, как часто производят относительное перемещение деталей?

3) Крепятся ли к пластмассовому профилю другие детали, где осуществляется крепление – на контуре или в углублениях профиля, вызывает ли это деформацию изделия?

Обычно допуски пропорциональны размерам профиля. В табл. 2.22 приведены рекомендуемые допуски на профильные изделия из различных термопластов.

Допуски на размеры и форму профильных изделий регламентируются ГОСТ 19111–2001 «Профильные изделия из поливинилхлорида» и техническими условиями на конкретные изделия, разрабатываемые производителями изделий. С 1999 г. стал действовать ГОСТ 30673–99 «Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков». Оба ГОСТ были разработаны применительно к переработке поливинилхлорида и не в полной мере отражают достижения в области технологии экструзии профилей из других термопластов (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Рекомендуемые допуски на пластмассовые профили

Геометрия профиля	Материал профиля					
	НПВХ	ПС	АБС	ПП	пл. ПВХ	ПЭ
Толщина стенки, %, ±	8	8	8	8	10	10
Углы, град, ±	2	2	3	3	5	5
Размеры профиля, мм:						
до 3,2	0,18	0,18	0,25	0,25	0,25	0,30
3,2–12,7	0,25	0,30	0,51	0,35	0,35	0,63
12,7–25,4	0,35	0,43	0,63	0,51	0,51	0,76
25,4–38,1	0,51	0,63	0,69	0,69	0,76	0,89
38,1–50,8	0,63	0,76	0,89	0,89	0,89	1,02
50,8–76,2	0,76	0,89	0,94	0,94	1,02	1,14
76,2–102	1,14	1,27	1,27	1,27	1,65	1,65
102–127	1,53	1,65	1,65	1,65	2,36	2,36
127–178	1,91	2,36	2,36	2,36	3,17	3,17
178–254	2,35	3,17	3,17	3,17	3,81	3,81

При экструзии точность изготовления выше 12-го качества по ГОСТу применяется редко, так как специфика процесса экструзии не позволяет обеспечивать такую высокую точность, кроме того, с повышением точности особое внимание требуется уделять конструкции оборудования и оснастки, стабильности реологических свойств материала и точности поддержания технологических параметров процесса, что в значительной мере удорожает изделие.

Немецкий общенациональный стандарт DIN 16941 «Экструдированные профили из термопластов» (май 1986 г.) устанавливает две группы допусков: для жестких профилей (группа А) и для эластичных профилей (группа В). Первая группа имеет более жесткие нормы, чем вторая. В этом стандарте приводятся значения допусков на линейные и угловые размеры, допуски на отклонение формы изделия от номинальной и методы контроля отклонений.

3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНАСТКИ [5, 7, 8, 9, 10, 11]

3.1. Исходные данные для проектирования

Проектирование оснастки осуществляется в соответствии с техническим заданием, которое составляется согласно ГОСТ 15.001–73.

Исходные данные включают следующее:

- чертеж изделия и технические требования к изготовлению и эксплуатации изделия, его технологичность;
- тип производства (опытное, серийное, массовое);
- программа выпуска (годовая, всего);
- оборудование, которое можно использовать для изготовления изделия, его модели и технические характеристики;
- используемый способ термостатирования (типы, модели и технические характеристики);
- сведения о сырье (порошок, гранулы, жгуты, таблетки, дробленка);
- чертеж детали, заменяемой на пластмассовую, сборочный чертеж узла, в который она входит, характер и значение нагрузки на деталь, условия эксплуатации (температура, среда, радиация), срок службы.

При конструировании оснастки необходим системный подход, так как оснастка и ее эксплуатация должны удовлетворять множеству условий. Последовательность решений, принимаемых конструктором, приведена на рис. 3.1, описывающем процесс конструирования многогнездной литьевой формы.

При анализе работы форм для литья под давлением термопластов целесообразно выделить следующие четыре стадии: заполнение закрытой, замкнутой формы расплавом (впрыск расплава), фронт которого продвигается постепенно до периферии внутренней полости формы, являющейся негативным отображением детали; подпитка этой внутренней полости расплавом, дополнительно поступающим по специальным транспортным путям (литниковой системе) из узла инъекции литьевой машины-автомата и компенсирующим уменьшение объема материала, наступающее при частичном охлаждении расплава в ходе заполнения полости; охлаждение массы отливки (изделия)

в закрытой, замкнутой форме после снятия давления литья (охлаждение без давления); извлечение отливки (изделия) из разомкнутой формы.

От условий проведения стадии заполнения формы расплавом зависит появление недоливов, перегрев расплава; от условий проведения подпитки зависит появление облоя, величина объемной усадки. На этих стадиях цикла литья под давлением окончательно фиксируется ориентация материала и связанные с ней внутренние напряжения, усадка и коробление отливок.

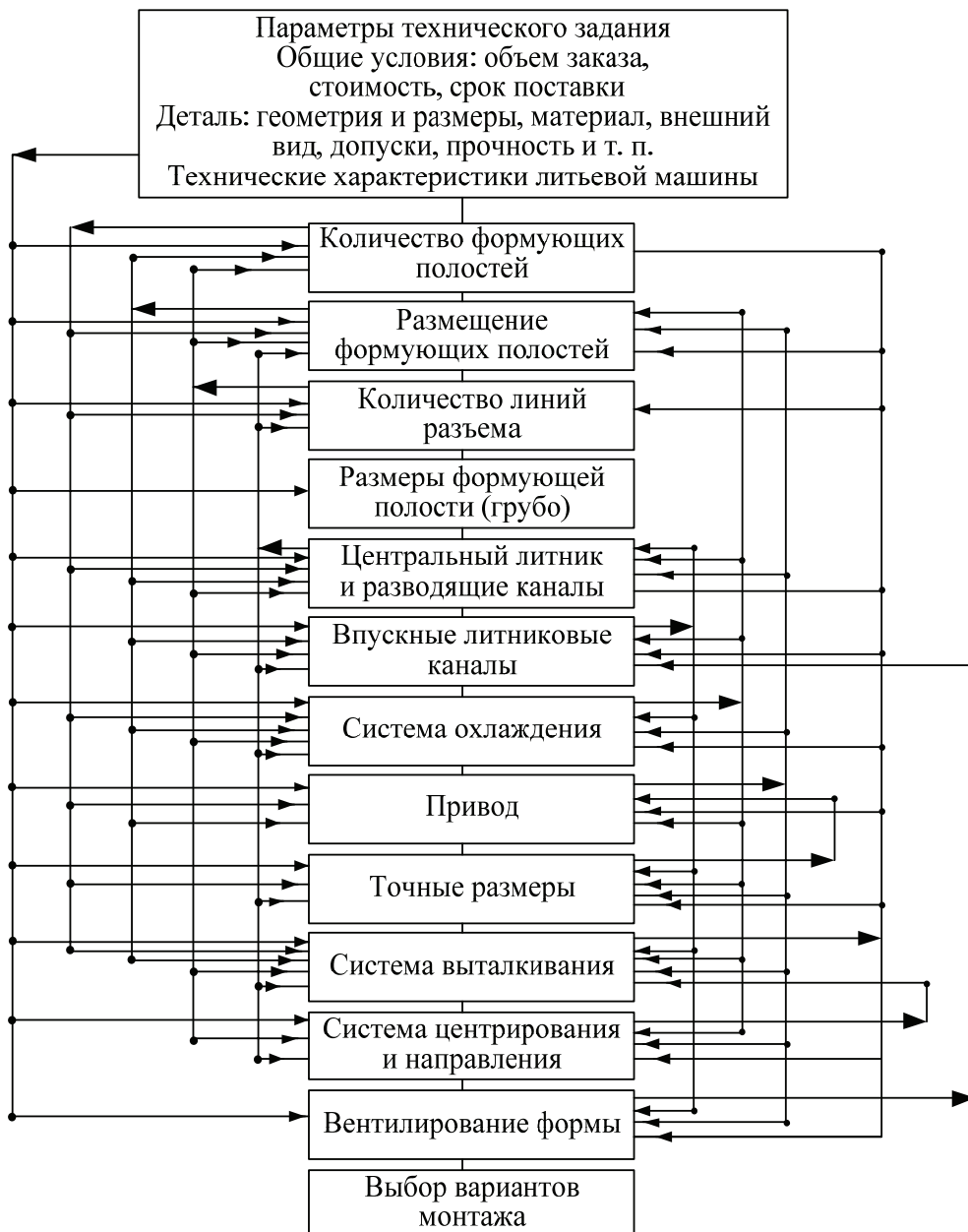


Рис. 3.1. Алгоритм конструирования формы

3.2. Расчет гнездности

Проектировать многогнездную пресс-форму нецелесообразно в следующих случаях: при количестве поверхностей разъема больше двух; для изделий, имеющих много арматуры, резьбовые знаки, боковые вкладыши и знаки; для изделий сложной конфигурации (нерационально увеличиваются габариты формы).

Если перечисленных ограничений нет, то гнездность определяют путем установления соотношения номинального усилия P_n (мощности) того конкретного гидравлического пресса, на который проектируется пресс-форма, и усилия прессования P .

$$n = \frac{P_n}{P} = \frac{P_n}{kp_0f}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент, учитывающий потери на трение в уплотнителях, равный 1,2; p_0 – удельное давление прессования; f – площадь прессования.

По вычисленному таким образом количеству гнезд находят силу выталкивания изделий:

$$P_{\text{выт}} = np_{\text{адг}}f_{\text{бок}}, \quad (3.2)$$

где $p_{\text{адг}}$ – адгезия полимера к металлической поверхности матрицы (10–40 кгс/см²); $f_{\text{бок}}$ – боковая поверхность матрицы.

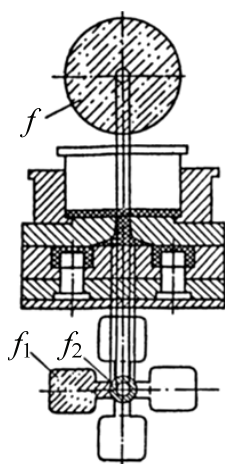


Рис. 3.2. Схема литьевого прессования реактопластов

В пресс-форме для литьевого прессования усилие, действующее на материал в загрузочной камере, площадь проекции которой на горизонтальную плоскость равна f (рис. 3.2), стремится сомкнуть форму. Усилие, действующее на площадь проекции полости (изделия) f_1 и площадь проекции литниковой системы f_2 , стремится разомкнуть форму. Если давления на материал в литевой камере и в формующей полости равны, то условие неразмыкания формы будет следующим:

$$f \geq nf_1 + f_2 \quad \text{или} \quad n \leq (f - f_2) / f_1.$$

При конструировании пресс-формы для литьевого прессования известны параметры F_n , p_0 , f_1 (при выбранном рабочем положении изделия в формующей

полости). Поэтому, рассчитывая гнездность таких пресс-форм, сначала принимают $f_2 = 0$, полученное значение n округляют в меньшую сторону, затем конструируют литниковую систему и проверяют приведенное выше соотношение для n ; если оно (соотношение) не выполняется, то увеличивают площадь f .

Для литьевых форм расчет связан с учетом объема впрыска, усилия смыкания, пластикационной производительностью и геометрическими размерами плит.

Гнездность, обусловленная объемом впрыска термопластавтомата,

$$n_Q = \beta_1 Q_n / (Q_{\text{и}} k_1), \quad (3.3)$$

где β_1 – коэффициент использования машины (для аморфных полимеров 0,85, для кристаллических – 0,80); Q_n – номинальный объем впрыска термопластавтомата, см^3 ; $Q_{\text{и}}$ – объем одного изделия, см^3 ; k_1 – коэффициент, учитывающий объем литниковой системы в расчете на объем одного изделия.

Гнездность, обусловленная усилием смыкания плит термопластавтомата,

$$n_P = 10 P_{\text{нт}} / (q f_{\text{пр}} k_2 k_3), \quad (3.4)$$

где $P_{\text{нт}}$ – номинальное усилие смыкания плит термопластавтомата, кН; q – давление пластмассы в оформляющем гнезде; $f_{\text{пр}}$ – площадь проекции изделия на плоскость разъема формы, см^2 ; k_2 – коэффициент, учитывающий площадь литниковой системы в плане (принимают равным 1,1); k_3 – коэффициент, учитывающий использование максимального усилия смыкания плит на 80–90% (принимают равным 1,25–1,11).

Гнездность, обусловленная пластикационной производительностью термопластавтомата,

$$n_A = A_n \beta_2 \tau_{\text{охл}} / (3,6 k_1 G_{\text{и}}), \quad (3.5)$$

где A_n – номинальная (по полистиролу) пластикационная производительность, кг/ч ; β_2 – коэффициент, учитывающий отношение пластикационной производительности по данному материалу к значению ее по полистиролу (для полиэтилена высокого давления – 0,88; низкого давления – 0,75; полиметилметакрилата – 0,65; для полиамида – 6 и полиформальдегида – 0,625; поликарбоната – 0,5; полиамида 6,6 – 0,4); $\tau_{\text{охл}}$ – время охлаждения изделия, с; $G_{\text{и}}$ – масса изделия, г.

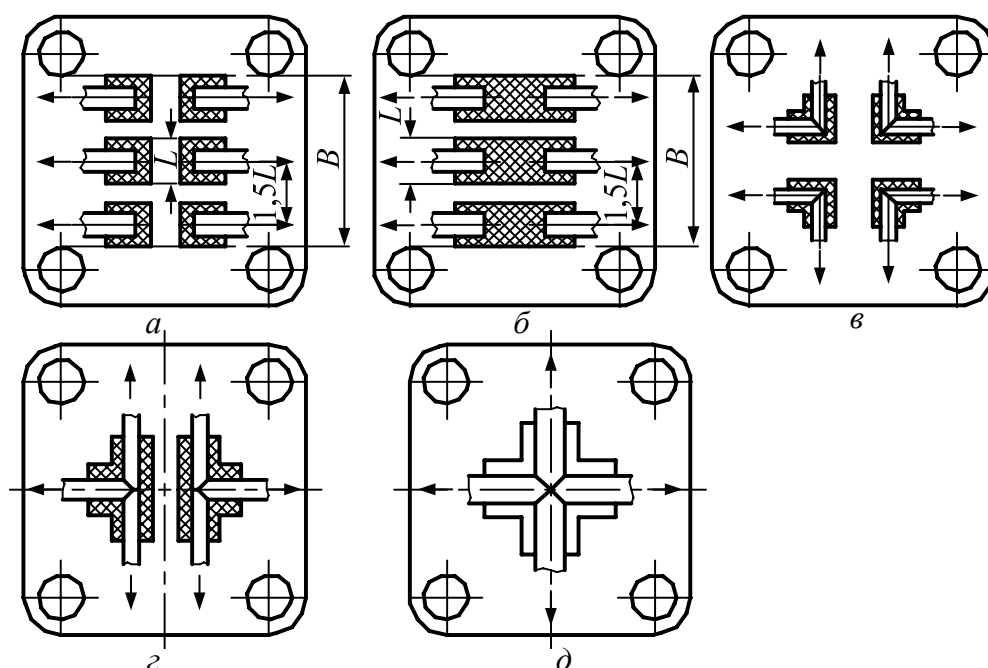


Рис. 3.3. Гнездность формы в зависимости от количества направлений разреза

Из рассчитанных значений n_Q , n_P , n_A принимают наименьшее: $n_n = \min[n_Q, n_P, n_A]$. Принятое значение n_n проверяют по условию размещения формы на плитах термопластавтомата.

Значение n_n не должно превышать число n_F , определяемое площадью рабочей поверхности плиты термопластавтомата,

$$n_{\text{пр}} \leq n_F = 0,5f_{\text{пл}} / f_{\text{пр}}, \quad (3.6)$$

где $f_{\text{пл}}$ – площадь рабочей поверхности плиты, см^2 .

Значение n_n не должно превышать число n_B , определяемое линейными размерами рабочей части плиты, для изделий, требующих при формовании:

- двух направлений разреза частей формы в двух плоскостях (рис. 3.3, а),

$$n_n \leq n_B = 1,3B / L_1, \quad (3.7)$$

где B – ширина или высота рабочей части плиты; L_1 – определяющий габаритный размер изделия;

- трех направлений разреза частей формы в двух плоскостях (рис. 3.3, б),

$$n_n = n_B = 0,65B / L_1; \quad (3.8)$$

- трех направлений разъема частей формы в трех плоскостях (рис. 3.3, в) – $n_n \leq 4$;
- четырех направлений разъема формы в трех плоскостях (рис. 3.3, г) – $n_n \leq 2$;
- более четырех направлений разъема в трех плоскостях (рис. 3.3, д) – $n_n \leq 1$.

3.3. Материалы для изготовления оснастки

3.3.1. Стали

Основными и самыми распространенными материалами для изготовления формообразующих деталей (ФОД) являются стали. Срок службы пресс-форм зависит главным образом от стойкости ФОД, а она связана с правильным выбором марки стали, режимов ее термообработки или упрочнения.

Основными причинами потери стойкости материалов ФОД являются: износ, разрушение, смятие, коррозия, адгезия полимеров к поверхности ФОД.

Износостойкость стальных ФОД определяется типом и количеством карбидной фазы и твердостью мартенситной основы сталей. Определяющим является их абразивный износ, усиленный воздействием агрессивных химических веществ, выделяющихся в рабочей зоне формования.

Разрушение ФОД – сколы тонких элементов, перемычек и т. д. – наблюдаются чаще при использовании цементируемых сталей в результате влияния концентрации напряжений.

Смятию подвергаются локальные участки поверхности ФОД из-за неравномерной и пониженной прокаливаемости некоторых сталей при попадании в плоскость разъема формы твердых частиц материала.

Коррозия ФОД наблюдается при переработке пластмасс, отличающихся сильно агрессивными выделениями летучих, особенно со сложной конфигурацией полости, когда технологически затруднено выполнить однородное хромовое покрытие. В таких случаях стали

с хромовым электролитическим покрытием заменяют на улучшенные коррозионностойкие стали. Они отличаются относительно небольшой устойчивостью к излому при закалке, средним (до малого) износом, низкой теплопроводностью, но отличными антикоррозионными свойствами, постоянством размеров, сопротивлением к трещинообразованию, высокой прочностью на сжатие, хорошей полируемостью, обрабатываемостью.

При переработке малоагрессивных пластмасс возможно применять стальные ФОД даже без хромового покрытия.

Адгезия полимеров к ФОД проявляется чаще всего тогда, когда уже произошла коррозия поверхности или когда эта поверхность была недостаточно чистой (шероховатой). Стали, применяемые для ФОД, по методу их термической обработки классифицируют на цементируемые, закаливаемые (в том числе стали сквозной закалки), улучшенные, специальные (в основном – мартенситностареющие).

Особенностями цементируемых сталей являются: твердая поверхность, большая износоустойчивость, отличная полируемость и возможность нанесения твердого хромового покрытия. Чем глубже и тверже зона цементации, тем больше сопротивление износу и пластической деформации; глубина цементации должна быть тем больше, чем больше давление формования и площадь плоской поверхности ФОД.

Закаливаемые стали имеют примерно одинаковые механические свойства во всем объеме ФОД, и не опасно (как и в цементируемых сталях) удалить прочный поверхностный слой при механической обработке или в результате пластической деформации. Эти стали особенно пригодны для электроэрозионной обработки, они хорошо полируются. При переработке реактопластов материалы ФОД должны отвечать двум основным требованиям – высокой прочности на сжатие и высокому сопротивлению износу. Эти требования выполняются закаливаемыми сталями, например марки X12 и др. Они отличаются высокой размерной стабильностью, мало деформируются, достаточно пластичны и вязки. Закаливаемые стали для крупных ФОД при резких перепадах температур подвергают высокому отпуску (более 500°C); для мелких ФОД, работающих в условиях медленного повышения температур, – низкому отпуску (до 250°C).

Улучшенные стали применяют для крупных и средних ФОД. В них устранены недостатки цементируемых и закаливаемых сталей – они отличаются высокой прочностью сердцевины, что позволяет

допускать значительные локальные перегрузки, повышенной поверхностной прочностью и пластичностью (из них выдавливают глубокие и сложные полости ФОД). Улучшение сталей производят легированием, добавляя бор, молибден, никель, вольфрам, а также специальной обработкой. Например, при закалке с последующим отпуском при температуре более 500°C в течение 1–2 ч получается структура сорбита, обеспечивающая сочетание оптимальной вязкости и прочности.

Рекомендуемые ГОСТ 27358–87 стали для изготовления ФОД приведены в табл. 3.1 (марки сталей 20Х13, 30Х13, 40Х13, 95Х18 по ГОСТ 5632–72; 65Г по ГОСТ 14959–79; 12ХН3А, 20ХН3А, 38Х2МЮА, 20Х, 40Х по ГОСТ 4543–71; 9ХС, 5ХНМ, 7ХГ2ВМ, 4Х5МФС, Х6ВФ, ХВГ, Х12М, Х12Ф1 по ГОСТ 5950–73; У8А, У10А по ГОСТ 1435–74).

Таблица 3.1

Рекомендуемые марки сталей для изготовления ФОД

Наименование ФОД	Марка стали	Твердость рабочей части ФОД	
		прямое и литевое прессование	литье под давлением
Матрицы, пуансоны, вставка матриц и пуансонов простой конфигурации	У8А, У10А	56–61 HRC ₃	45–55 HRC ₃
Матрицы, пуансоны, вставки сложной конфигурации без тонких выступов и ослаблений сечений	40Х 40Х13 95Х18 12ХН3А, 20Х 5ХНМ ХВГ 9ХС 4Х5МФС	– 50–55 HRC ₃ 54–58 HRC ₃ Цементировать 56–61 HRC ₃ 56–61 HRC ₃ 56–61 HRC ₃ 56–61 HRC ₃ 56–61 HRC ₃	45–50 HRC ₃ 45–55 HRC ₃
Матрицы, пуансоны, вставки сложной конфигурации с тонкими выступами и ослабленными сечениями	20Х 12ХН3А, 20ХН3А 38Х2МЮА 7ХГ2ВМ Х6ВФ 20Х13 30Х13	Цементировать 50–61 HRC ₃ Цементировать 53–57 HRC ₃ Азотировать 53–57 HRC ₃ 56–61 HRC ₃ 56–61 HRC ₃ Азотировать 50–61 HRC ₃ 50–55 HRC ₃	45–55 HRC ₃

Окончание табл. 3.1

Наименование ФОД	Марка стали	Твердость рабочей части ФОД	
		прямое и литевое прессование	литье под давлением
Знаки гладкие и резьбовые, кольца резьбовые, выталкиватели	40X, ХВГ 9ХС, 4Х5МФС, 65Г, 30Х13, У8А, 40Х13, У10А, 95Х18, Х12М 38Х2МЮА	50–61 HRC ₃ Азотировать 50–61 HRC ₃	41–55 HRC ₃
Тонкие знаки и тонкие плоские вкладыши	65Г, У8А, У10А	50–61 HRC ₃	35–42 HRC ₃
Матрицы, пуансоны таблет-форм	Х12М, Х12Ф1	60–63 HRC ₃	

Допускается изменять стали на другие с механическими свойствами не ниже, чем у приведенных.

В деталях, имеющих различные твердости, размер переходной зоны твердости должен быть в пределах 15–30 мм нормируемого участка.

Детали ФОД изготавливают из отливок (требования к ним – по ГОСТ 977–75 и ГОСТ 26358–84). Неуказанные литейные радиусы в зависимости от габаритных размеров заготовок деталей пресс-форм должны быть от 2 до 40 мм.

Допускается вместо литейных радиусов применять фаски.

Заготовки ФОД, из чугуна должны быть подвергнуты старению. Допуски размеров отливок из металлов и сплавов, не подвергаемых механической обработке, назначают по 10-му классу ГОСТ 26645–85. В технической документации могут быть установлены другие допуски размеров.

Выбор сталей для ФОД оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели производства. Главными факторами, определяющими выбор той или иной марки сталей, являются: тип перерабатываемого материала, сложность конструкции из ФОД, давление формования, серийность выпуска, гнездность формующего инструмента, особенности планируемого технологического процесса изготовления ФОД.

Для изготовления формующих деталей головок применяют нержавеющие и инструментальные стали марок: 20Х, 40Х, 40Х13, У8, У10.

Поскольку корректировка основных деталей в процессе отработки технологического процесса неизбежна даже в случае сравнительно

простых профилей, рекомендуется задавать начальную твердость не выше 30–32 HRC. И только после окончательной доводки формы и размеров формующих каналов можно производить окончательную термообработку с твердостью рабочей поверхности 46–50 HRC.

Для уменьшения времени на обработку деталей иногда рекомендуют изготавливать два комплекта формообразующих деталей, один из которых подвергается доводке, а второй обрабатывают уже в окончательном виде по образцу после завершения доводочных операций.

Внутренние (рабочие) поверхности формующих деталей выполняют в чистой обработке 0,32 мкм. Поверхности всех остальных деталей, соприкасающихся с расплавом, рекомендуется выполнять с чистотой обработки не ниже 0,63 мкм.

Для исключения коррозии деталей из инструментальных сталей рекомендуется их хромировать или химически никелировать даже при переработке термостабильных материалов. Хромирование к тому же придает поверхностную твердость при сохранении высокой пластичности детали в целом, что важно для возможной ее доработки; на твердой поверхности проще достичь высокой чистоты обработки. Для переработки материалов, вызывающих коррозию (например, ПВХ), обязательно защитное покрытие деталей или использование нержавеющей сталей.

Рекомендуемые стали для конструкционных деталей оснастки даны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Рекомендуемые марки сталей для конструкционных деталей оснастки

Деталь	Сталь рекомендованная / допускаемая	Твердость стали, HRC _c
Втулки: литниковые направляющие штоков разъемные (к системе удаления отливок)	У8А / У8 45	51,5–56,0 42–47
Выталкиватели	У8А / 40Х	49,5–53,0
Рассекатели	У8А / У8	49,5–53,0
Гайки (к системе охлаждения)	Ст4 / –	–
Заглушки (к системе удаления отливок)	Ст3 / –	–
Знакодержатели цанговые	У8А / У8 65Г / –	51,5–56,0 43,5–49,5

Окончание табл. 3.2

Деталь	Сталь рекомендованная / допускаемая	Твердость стали, HRC ₃
Камеры загрузочные: открытые закрытые в обойму	У8А / У8 12ХН3А / 20Х	51,5–57,0 Цементировать h 0,8–1,2 мм HRC ₃ 51,5–57,0
Клинья, пальцы разъемных приспособлений	45 / –	34–38
Плиты, скобки для разъема снимаемых форм	Ст3 / –	–
Колонки направляющие	У8А / У8	49,5–53,0
Тяги, захваты, копиры, колонки декальные	20Х / 20	51,5–56,0
Рычаги	45 / –	–
Ползушки, направляющие ползушек	45 / –	–
Ниппели, трубки для каналов охлаждения (к системе охлаждения)	35 / –	–
Обоймы: клиновых матриц	У8А / У8 20Х / 20	49,5–53,0 Цементировать h 0,8–1,2 мм HRC ₃ 51,5–56,0
матриц и пуансонов универсальных блоков	Ст3 45 / –	– –
Оси	20 / 35	–
Опоры	45 / –	–
Плиты: верхние, нижние обогрева выталкивателей, опорные прокладочные литниковые при отсутствии оформляющей полости съема изделия	Ст3 / Ст4 Ст3 / Ст4 45 / 35 20 У8А / У8	– – – – 45,5–49,5
Планки опорные для прессовых форм	45 / –	–
Прихваты	45 / 35	34–38
Пробка под штифты и к системе охлаждения	Ст3 / –	–
Пружины	65Г / –	44–48
Ручки	Ст3 / –	–

3.3.2. Технологические процессы изготовления и сборки оснастки

Выбор экономически целесообразного метода изготовления ФОД определяется минимумом приведенных затрат:

$$Z = \sum_{i=1}^n C_{pz_i} \tau_i, \quad (3.9)$$

где C_{pz_i} – приведенные часовые затраты (с учетом капитальных) по эксплуатации оборудования при выполнении i -й операции; τ_i – норма времени на выполнение i -й операции при изготовлении требуемого количества ФОД; n – число операций.

Однако этой оценке должен предшествовать всесторонний анализ технических возможностей (по табл. 3.3 и другим данным) процессов изготовления ФОД.

Таблица 3.3
Технические возможности процессов изготовления ФОД

Процесс	Максимальный размер обрабатываемой ФОД	Квалитет размеров рабочей поверхности	Шероховатость поверхности рабочей полости R_a , мкм
Слесарно-механическая обработка	Любой	8–5	0,63–0,04
Электроэрозионная обработка: копировальным прошиванием вырезка непрофилированным электродом	Площадь до 2000 см ²	11–9	2,5–0,32
	Толщина детали до 50 мм	9–6	1,25–0,32
Точное стальное литье	Ограничен техническими возможностями оборудования	12–11	40–20
Точное цветное литье	Ограничен техническими возможностями оборудования	9–6	1,25–0,32
Полугорячее выдавливание	Площадь до 250 см ² Глубина до 200 мм	12–9	2,5–0,63*
Холодное выдавливание	Площадь до 150 см ² Глубина до 100 мм	6–8	0,63–0,08*
Порошковая металлургия	Площадь до 250 см ²	11–8	1,25–0,63
Плазменное напыление	Площадь до 250 см ²	12–9	1,25–0,63
Гальванопластика	Площадь до 1000 см ²	9–6	0,32–0,04*

* Не требуется дополнительной слесарной обработки поверхности.

Напомним кратко суть некоторых из этих процессов.

Электроэрозионная обработка заключается в разрушении металла обрабатываемой поверхности под действием электрических разрядов. В точке разряда металл локально оплавляется, испаряется, образуя лунку. Удаляются продукты эрозии из зоны обработки благодаря газодинамическим явлениям, сопровождающим процесс. Копировальное прошивание производится электродами – инструментами (из меди, латуни, чугуна, углеграфитовых масс), по форме повторяющими конфигурацию обрабатываемой полости. Вырезание непрофилированным электродом (точнее, проволокой диаметром 0,08–0,30 мм) производят по шаблонам, копирам, а на станках с ЧПУ – по программам.

Точное литье, например, в керамические формы по постоянным и эластичным моделям, заключается в заливке расплавленного металла требуемой марки в керамическую форму. Эта форма, в свою очередь, выполняется по модели (постоянная – из дерева, металла, пластмассы; эластичные – из термостойкого заливочного компаунда, причем саму эту модель получают по другой модели, выполненной из пластилина, воска, парафина и т. п.). Керамическая форма используется один раз. Этот процесс дает возможность изготовления ФОД большой массы, сложной конфигурации с поднутрениями, боковыми отверстиями.

Холодное выдавливание состоит во вдавливании закаленного мастер-инструмента из легированной высокосортной стали в отожженную заготовку из пластичной стали. Полость, образующаяся в результате, точно копирует конфигурацию рабочей части мастер-пуансона. Этот процесс позволяет существенно снизить трудоемкость образования сложных фасонных поверхностей ФОД, в 1,5–2 раза повысить износостойкость благодаря упрочнению поверхностного слоя. Но есть и ограничения применения процесса: невозможность выдавливания сложных полостей в инструментальных и легированных сталях; необходимость применения дорогостоящего оборудования – прессов большой мощности; необходимость изготовления высокоточных мастер-пуансонов из высокопрочных сталей; невозможность изготовления полостей ФОД, не имеющих уклонов и имеющих поднутрения.

Полугорячее выдавливание, аналогично холодному, но осуществляют его на быстроходных гидравлических прессах. Пластическому деформированию подвергают стальные заготовки, разогретые до температуры 600–750°C. Полугорячее выдавливание несколько расширяет ограничения холодного выдавливания.

Порошковая металлургия позволяет получать заготовки ФОД прессованием металлического порошка в стальной пресс-форме с последующим спеканием в печах с защитной атмосферой при температуре, равной $2/3$ температуры плавления спекаемого металла.

Плазменное напыление заключается в напылении на мастер-модель металлов в виде порошковой композиции с использованием в качестве источника тепла низкотемпературной плазменной струи, которая получается путем подачи смеси газов в зону горения электродов, создающих электрическую дугу. Модели делают из металла или керамических смесей. Этот процесс высокопроизводителен и эффективен, причем его достоинства возрастают по мере усложнения конфигурации детали; однако напыленный слой достаточно хрупок, а стойкость керамической модели – одноразовая (одна наплавка).

Гальванопластика, или пластическое воспроизведение поверхности модели путем осаждения на нее металла или сплава из электролита, производится следующим образом. Модель изготавливают из токопроводящего материала или другого, но покрытого серебром, графитом, медью, никелем. Модель является катодом, пластины осаждаемого металла – анодом. Материал для изготовления ФОД – сплав никеля с кобальтом, он обеспечивает минимальное коробление при осаждении на модель, имеет твердость поверхности 45–52 HRC₃. На осажденный рабочий слой из этого сплава толщиной 0,8–1,5 мм наращивают конструкционный слой меди толщиной до 30–50 мм. Такая деталь-корка закрепляется в обойме или на стальном основании (припаивается, приклеивается и т. д.). Процесс имеет много достоинств (главное – снижение трудоемкости изготовления сложных ФОД) и ограничений (повышенная хрупкость рабочего слоя, длительность цикла изготовления и др.).

В последние годы для изготовления сложных отверстий в ФОД успешно применяют лазерную обработку.

Общими требованиями к качеству обработки ФОД при любом процессе их изготовления являются следующие: на поверхности деталей не должно быть следов коррозии, трещин и других механических повреждений, ухудшающих прочность, эксплуатационные качества и внешний вид.

Шероховатость поверхностей деталей должна соответствовать значениям параметра Ra по ГОСТ 2789–73 (например, 3,2 мкм – резьб; 0,80 мкм – опорных плоскостей разъема; 0,20 мкм – формообразующих полостей; 0,025 мкм – формообразующих полостей для

изделий светотехники и для изделий с поверхностями для гальванической или вакуумной металлизации).

Формообразующие поверхности деталей пресс-форм в зависимости от перерабатываемого полимерного материала должны быть подвергнуты одному из видов гальванической, химической или химико-термической обработки: хромированию, никелированию, азотированию, оксидированию и др. Толщина слоя хрома должна быть не менее 12 мкм. В труднодоступных местах допускается толщина слоя хрома не менее 6 мкм.

Детали, изготовленные из сталей типа 30X13, 40X13, 95X18 и др., гальванической обработке не подлежат. Формообразующие поверхности должны полироваться до и после гальванической, химической или химико-термической обработки. Полировку в разводящих каналах и литниках целесообразно проводить вдоль потока массы и по направлению съема детали.

Технологические процессы сборки ФОД в принципе традиционны для машиностроения. В основном это процессы слесарно-механические. Точность сборки определяется заданными допусками: допуск плоскостности опорных плоскостей плит, плоскостей разъема форм, а также параллельности прилегающих поверхностей плит, матриц, держателей, обойм должен соответствовать 6-й степени точности по ГОСТ 24643–81; допуск перпендикулярности отверстий под знаки, матрицы, вкладыши относительно плоскости разъема не должен быть более 0,02 мм; допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей по ГОСТ 14140–81; допуск параллельности опорных поверхностей нижней (неподвижной) и верхней (подвижной) плит крепления в закрытой форме и допуск параллельности плоскости разъема по отношению к опорным плоскостям плит формы должны соответствовать 8-й степени точности по ГОСТ 24643–81; допуск перпендикулярности направляющих колонок и втулок, а также колонок возврата относительно опорных плоскостей плит пресс-форм должен соответствовать 8-й степени точности по ГОСТ 24643–81; смещение контуров формообразующих поверхностей относительно друг друга по плоскости разъема не должно быть более 0,05 мм; торцы выталкивателей должны быть в одной плоскости с формообразующей поверхностью матрицы. Допускается выступание над поверхностью или «утопление» выталкивателей до 0,2 мм, если сторона изделия, на которую действуют выталкиватели, не является лицевой, а также в зависимости от требований, предъявляемых к изделию.

4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19]

4.1. Формы для литья под давлением

Литьевая форма – это приспособление, которое используется для получения на литьевых машинах деталей из полимерных материалов заданной формы и размеров.

Литьевая форма может иметь одну основную плоскость разъема (для извлечения отливки) и дополнительную (кроме основной), необходимую для извлечения литников, а также дополнительную для постепенного многоступенчатого извлечения отливки.

В зависимости от количества гнезд, в которых изделия отливаются одновременно, формы могут быть одногнездные и многогнездные; в зависимости от количества впускных каналов, через которые заполняются гнезды, – одновпускные и многовпускные, а по типу литников – с застывающими литниками, к которым относится большинство современных форм, и с незастывающими (горячеканальные формы).

4.1.1. Основные элементы литьевых форм

Когда термопласт нагревают, его агрегатное состояние изменяется; он становится мягким и, расплавляясь, приобретает текучесть. Охлаждаясь, расплав снова затвердевает. Ввиду этого при работе с термопластами узел пластикации подогревается, а литьевая форма охлаждается. Обычно разница в температуре составляет более 100°C. Из разработанных для литья под давлением термопластов получают, как правило, расплавы с относительно низкой вязкостью, благодаря чему время впрыска невелико и не требуется больших усилий смыкания.

Литьевая форма должна отводить тепло от расплава материала быстро и равномерно. Поэтому требуется тщательно разрабатывать систему охлаждения формы. Охлаждающая жидкость – обычно вода (при условии, что температура формы не превышает 100°C) – подается по каналам охлаждения. Из экономических соображений, таких как качество отлитых деталей, сильно зависящее от однородности теплового потока в форме, контур охлаждения тщательно контролируется. Для обеспечения постоянства температуры охлаждающей жидкости используются термостаты и охладители. Детали, не требующие дополнительной механической обработки, можно получить только при том условии, что все соединения и линии разъема формы очень хорошо подогнаны и расплав не в состоянии проникнуть в зазоры. В противном случае образуется облой, и механическая обработка отливки будет неизбежна. По этой причине все зазоры должны оставаться менее 0,03 мм (даже под давлением впрыска) до тех пор, пока расплав не затвердеет. Эти требования особенно строги при литье крупных деталей на мощных литьевых машинах, так как формы должны быть очень жесткими, а узлы смыкания должны работать очень точно; особенно важна жесткость плит смыкания. На рис. 4.1 представлена конструкция одной из литьевых форм и ее основные детали.

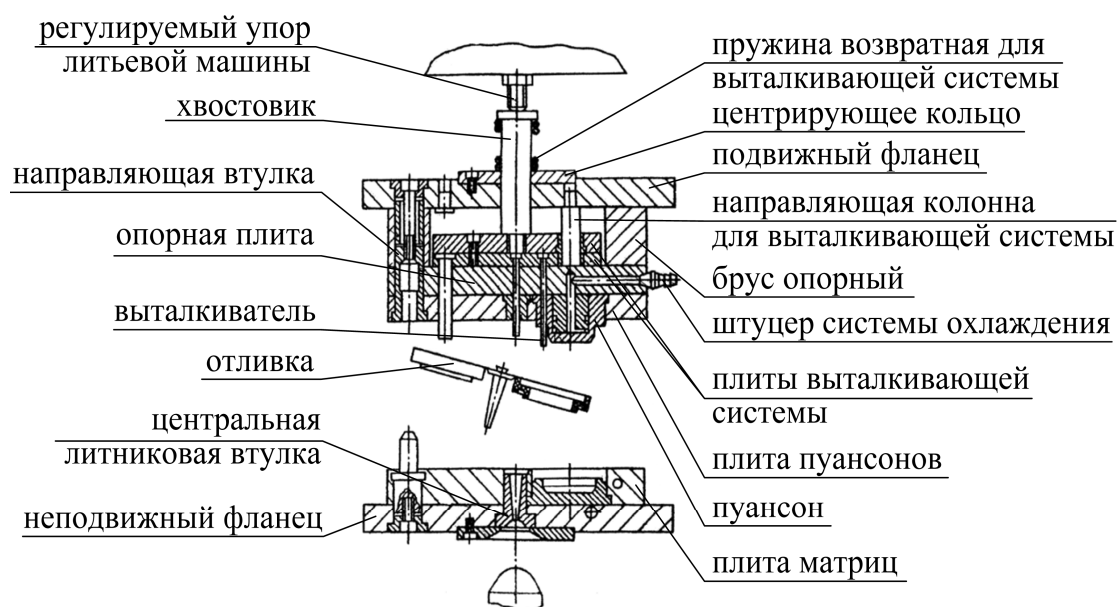


Рис. 4.1. Основные детали литьевой формы

4.1.2. Системы литевых форм

Основные системы литевых форм состоят из функциональных групп или деталей, а в некоторых случаях элементов деталей форм. Конструкцию литевой формы разделяют на следующие основные системы: система размещения, установки и крепления литевых форм; система литниковых и газоотводящих каналов; система оформляющих деталей; система центрирования; система охлаждения и регулирования температуры формы; система извлечения изделий из формы; система перемещения деталей. Это деление условно. В некоторых случаях соединяют несколько функциональных групп определенных деталей форм в одну систему, например детали питания формы расплавом, обогреватели, распределители, запорные краны, литниковые системы и системы газоотводящих каналов; системы каналов охлаждения и системы регулирования температуры оформляющих поверхностей формы. В некоторых случаях отдельные элементы одной и той же детали формы могут одновременно принадлежать двум и более системам. Например, пуансоны и матрицы имеют оформляющие поверхности и причисляются к системам оформляющих деталей. В то же время на них располагаются литниковые каналы и каналы для охлаждающей жидкости. Первые относятся к системе литниковых и газоотводящих каналов, а вторые – к системе охлаждения и регулирования температуры формы. Деление формы на перечисленные системы дает возможность проследить за усовершенствованием каждой системы. Анализ достоинств и недостатков конструктивных разновидностей каждой системы позволит определить закономерность поиска новых конструктивных решений.

Отсутствие удовлетворяющей классификации литевых форм и форм для других методов переработки объясняется большим разнообразием конструкций изделий из различных полимерных материалов и множеством конструкций литевых форм. Разделение таких форм на системы позволяет классифицировать каждую из конструктивных разновидностей и на основе этого компоновать общую конструкцию формы.

На рис. 4.2 представлены основные системы литевой формы.

Система оформляющих деталей охватывает детали формы, на которых размещены оформляющие поверхности, соприкасающиеся с расплавом: пуансоны, матрицы, стационарные и подвижные;

съемные и установленные детали, оформляющие поверхности выталкивателей, выталкивающих плит и др.

Система литниковых и газоотводящих каналов включает типы каналов для передавливания расплава из инжекционного цилиндра литейной машины в оформляющую полость, сопло, запорные краны, распределители, нагреватели, терморегуляторы, литниковые втулки, литниковые и газоотводящие каналы, расположенные в разных деталях других систем литейной формы.

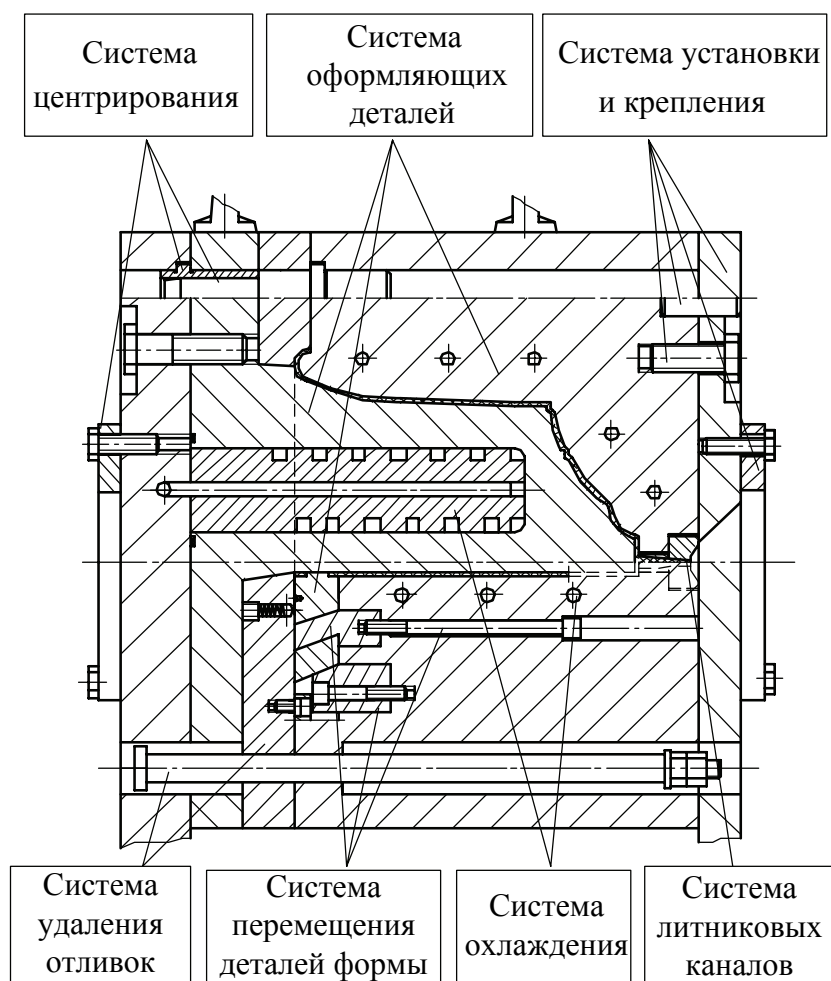


Рис. 4.2. Основные системы литейной формы

Система центрирования предназначена для предотвращения смещения осей оформляющих деталей формы. Она включает элементы центрирования полуформ; центрирующие выступы на фланцах; направляющие колонки и втулки оформляющих деталей и деталей системы удаления и отверстия под них; отверстия и пазы для

вставных пуансонов; матрицы и оформляющие знаки; посадочные, центровочные и опорные поверхности стационарных, подвижных и съемных оформляющих деталей; отверстия для литниковой втулки в матрице и в переднем фланце; фиксирующие конические, цилиндрические и плоские опоры для удлиненных пуансонов и др.

Система размещения, установки и крепления форм включает несущие и крепежные детали формы и элементы взаимного крепежа деталей. Она учитывает максимальные размеры плит и формы по площади и толщине. Эта система определяет конструкционную взаимосвязь формы и машины. От ее конструкции зависят такие возможности, как встраивание частей полуформ в соответствующие полости плит машин; перемещение и установка сопел, запорных кранов и систем удаления изделий; способы установки форм с максимально допустимыми размерами; конструкция элементов, что обеспечивают безопасность при подъеме и установке формы к плитам машины разных конструкций.

Система охлаждения и регулирования температуры литейной формы, предназначенная для равномерного охлаждения изделия в форме до определенной температуры t_t , учитывает теплофизические свойства материалов для деталей формы и хладагентов, а также рациональное направление их течения по каналам. Она охватывает каналы охлаждения на деталях формы и специальных деталях, которые служат для размещения каналов охлаждения и присоединения шлангов, уплотнительные детали и канавки для их размещения, которые обеспечивают герметизацию каналов, а также специальные приспособления для подогрева и терморегулирования охлаждающей жидкости внутри и за формой.

Система удаления отливок из литейной формы предназначена для извлечения изделий и литников из матриц и литниковых каналов и сбрасывания отливки через люк машины в приемную тару. При этом учитываются усилия, необходимые для удаления отливок из формы и их воздействия на изделия. Система включает поверхности, которые образуют камеру для деталей, соединительные планки, выталкиватели, шток, тяги, выталкивающие плиты, сбрасыватели и пружины, которые обеспечивают выталкивание и сбрасывание изделий, а также детали и узлы для возврата системы в исходное состояние. Она охватывает пневматические, гидравлические, электрические и другие приспособления, а также зубчатые передачи, которые обеспечивают удаление отливок и скручивание изделий с резьбооформляющих деталей.

Система перемещения деталей формы предназначена для перемещения подвижных относительно корпуса формы оформляющих деталей. Она обеспечивает перемещение деталей, движение которых совпадает или не совпадает с направлением движения литейной машины. Система включает кроме наклонных направляющих колонок, кулис пружин, которые относятся к механическому типу привода, пневматические, гидравлические и другие приспособления в совокупности с зубчатыми, винтовыми, червячными, клиновыми, блочными передачами. В кассетных, съемных и разъемных формах возможны ручные операции по установке и съему кассет, съемных знаков и матриц, разборке и сборке съемных матриц и пр.

4.1.3. Строение и принцип действия литевых форм

Одноместная литевая форма (рис. 4.3) состоит из двух полуформ: неподвижной I и подвижной II. На полуформе I размещена матрица 5, а на полуформе II – пуансон 4.

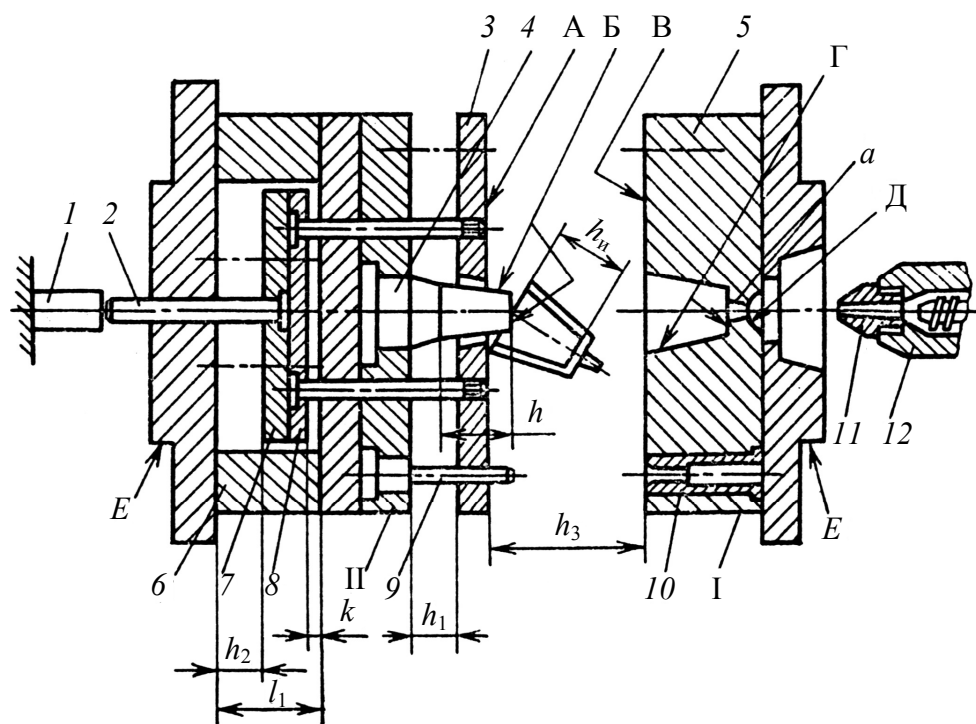


Рис. 4.3. Одноместная литевая форма

Поверхности А, Б, Г выталкивающей плиты 3 и пуансона и матрицы, которые непосредственно соприкасаются с расплавом, называются формующими. После смыкания полуформ между оформляющими поверхностями образуется полость, или гнездо, где изделие приобретает форму.

В матрице, кроме поверхности Г, расточен литниковый канал *a* и прилегающая к нему сферическая поверхность Д, предназначенная для соединения со сферической частью сопла 11, установленного резьбовой частью в гнездо цилиндра литьевой машины 12. В матрице расточены отверстия для направляющих втулок 10, которые при смыкании формы соединяются с направляющими колонками 9 и центрируют полуформы. На подвижной полуформе размещен пуансон 4, который запрессован в обойму и опирается торцевой поверхностью на опорную плиту. Последняя, в свою очередь, опирается на бруски 6, которые после сборки с подвижным фланцем образуют камеру высотой Г для размещения деталей системы удаления изделий – верхней 8 и нижней 7 выталкивающих плит. В последних установлены тяги, на которых закреплены плита 3 и шток 2. Противоположный конец штока направляется центральным отверстием подвижного фланца. Форма изображена в разомкнутом состоянии. Детали системы по удалению изделий находятся в правом крайнем положении, которое соответствует снятию изделия. Ниже приводится описание кинематического взаимодействия деталей формы на протяжении цикла.

Перемещением узла впрыска литьевой машины сопло 11 подводится к сомкнутой форме и прижимается к сферической части Д литникового канала *a*. После выдержки под давлением, в момент затвердевания расплава во впускном отверстии литниковой втулки, доступ расплава в оформляющую полость прекращается и сопло может быть отведено от литниковой втулки. Это соответствует началу охлаждения отливки без воздействия давления. Расплав охлаждается после поступления в литниковые каналы и формующую полость, а затем во время ее заполнения и уплотнения отливки. При охлаждении без воздействия давления температура изделия достигает t_t . Во время раскрытия изделие охлаждается на пуансоне, а после снятия с пуансона охлаждается вне формы до температуры окружающей среды. При раскрытии формы изделие по причине усадки затягивается пуансоном и вместе с литником достается из матрицы. При перемещении подвижной полуформы

влево шток дотрагивается до упора *1* машины, в результате чего система выталкивания (шток, плиты *7* и *8*, тяги и плита *3*) останавливается. При этом подвижная полуформа не доходит до крайнего левого положения на величину h_1 , необходимую для снятия изделия с поверхности Б пуансона, хотя она немного меньше, чем величина h . Наличие конусности и смещение центра тяжести в изделии при выталкивании на величину h_1 оказывается достаточным для скидывания отливки через люк машины в установленную тару. При перемещении подвижной полуформы на величину h_1 оформляющая полость Б пуансона выходит из изделия, которое удерживается плитой *3*, а колонки *9* выходят из отверстий плиты *3*, задняя поверхность нижней плиты *7* отходит от поверхности подвижного фланца на расстояние h_2 , которое должно быть немного больше h_1 , а верхняя поверхность соединительной плиты *8* не должна доходить на величину k до опорной плиты. Величина $h_2 - h_1$ – зазор, необходимый для того, чтобы предотвратить защемление инородного тела между нижней соединительной плитой *7* и подвижным фланцем после смыкания формы. При наличии выталкивающей плиты $h_2 - h_1 \approx 2-3$ мм – зазор, необходимый для предотвращения ударов при достижении подвижной полуформой крайнего левого положения. При смыкании формы подвижная полуформа перемещается в направлении к матрице. Смыкающая поверхность А плиты *3* упирается в смыкающую поверхность В матрицы. Под воздействием силы запираения литейной машины система выталкивания и матрица возвращаются в первоначальное положение, после чего цикл повторяется.

Форма (рис. 4.4) включает пуансоны *11*, матрицы *15* и плиты крепления – неподвижную *14* и подвижную *1* с фланцами *16* для точного центрирования формы относительно оси инжекционного цилиндра *18*.

В обойме *13* матрицы установлена литниковая втулка *17* с центральным литниковым каналом. Это – основная часть разветвленной литниковой системы. Радиус сферической поверхности втулки *17* на 1–2 мм больше радиуса сферы сопла литейной машины, что обеспечивает плотное прилегание сопла к втулке, предотвращает утечку расплава и облегчает извлечение центрального литника.

От центрального литникового канала к гнездам *12* подходят разводящие каналы; непосредственно у гнезд их сечение сужается, образуя

впускные каналы. Матрицы *15* установлены в обойме *13*, которая в свою очередь прикреплена к плите *14*. Пуансоны *11* установлены в подвижной обойме *21* и крепятся с помощью промежуточной плиты *27*. В пространстве между стойками *10*, промежуточной плитой *27* и подвижной плитой крепления *1* расположена плита *4* выталкивателей. В ней установлены выталкиватели *7* для извлечения отливки, центральный выталкиватель *19* для удаления центрального литника, а также возвратные толкатели *23*. Выталкиватели крепятся к плите выталкивателей с помощью плиты *3*, которая воспринимает нагрузки от сил выталкивания и в исходном положении опирается на упор *2*.

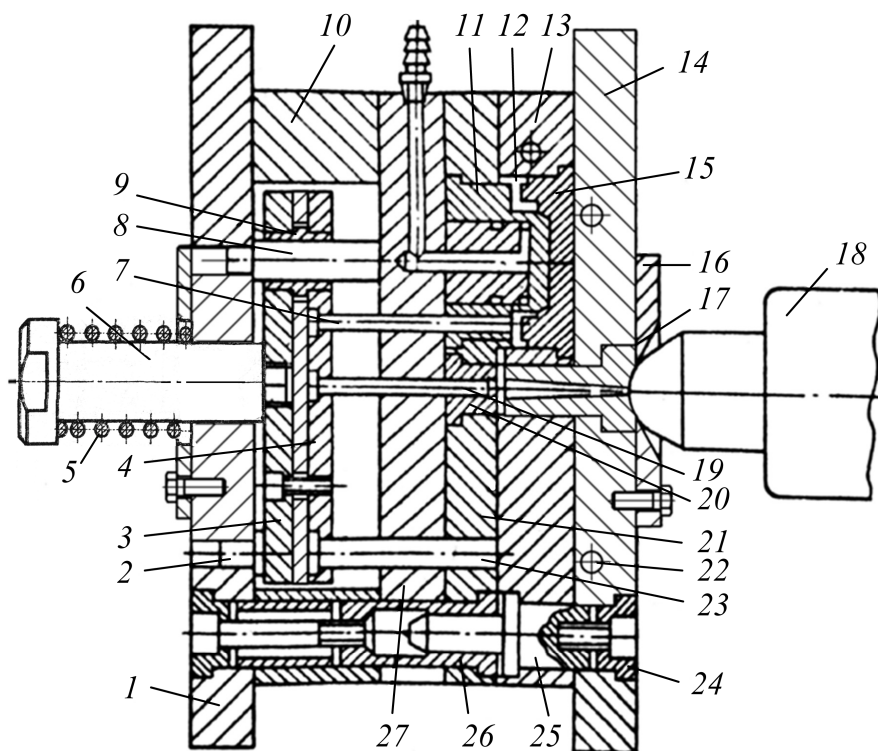


Рис. 4.4. Многогнездная литевая форма

Перемещение плиты выталкивателей при удалении отливки осуществляется по направляющим колонкам *8* направляющими втулками *9* с помощью хвостовика *6*, а обратный ход – под действием пружины *5* и возвратных толкателей *23*. Для точного центрирования пуансона относительно матрицы служат направляющие колонки *25*, соединенные болтами с втулками *24*, и направляющие втулки *26*.

После подхода подвижной части формы к неподвижной сопло инжекционного цилиндра 18 плотно прижимается к литниковой втулке 17, после чего происходит впрыск расплава полимера.

Через центральный литниковый канал в литниковой втулке 17, разводящие и впускные каналы расплав заполняет гнезда формы. Температура внутренних поверхностей гнезд благодаря охлаждающей жидкости, циркулирующей в каналах охлаждения 22, существенно ниже температуры расплава, поэтому расплав охлаждается и отливка затвердевает.

При размыкании формы ее подвижная часть отходит от неподвижной. При этом за счет усадки изделие и литники извлекаются из неподвижной матрицы 15 и перемещаются вместе с пуансоном 11 в подвижной части формы. Центральный литник извлекается из литниковой втулки с помощью захвата, выполненного во втулке 20. При дальнейшем движении хвостовик 6 наталкивается на неподвижный упор машины и останавливает плиту 4 выталкивателей вместе с выталкивателями 7, которые и сбрасывают изделие вместе с литниками в приемную тару. После этого форма замыкается и цикл повторяется. Такая форма, из которой изделия и литники сбрасываются, не отрываясь друг от друга (получается цельная отливка), называется полуавтоматической, так как разделение производится позднее и, как правило, вручную.

На рис. 4.5, а показана литьевая форма с отверстием для изделия, ось которого перпендикулярна оси машины.

Знак 5 присоединен к ползуну 3. Во время размыкания формы ползун вместе со знаком перемещается согласно с направляющими подвижной обоймы 6. В процессе закрытия формы наклонная колонка 1 перемещает ползун 3 в исходное положение, а запорный клин 4 поджимает ползун и освобождает от давления расплава в форме, которое передается на боковой знак. Для предотвращения самопроизвольного выхода ползуна из направляющих или смещения их в разомкнутой форме используются упоры 2 и фиксаторы.

При размыкании формы (рис. 4.5, б) ее подвижная часть отходит от неподвижной. Наклонная колонка, которая присоединена к неподвижной части формы, заставляет перемещаться ползун вместе с боковым формующим знаком. При этом боковой знак выходит из отверстия, что позволяет при дальнейшем движении вытолкнуть отливку из формы.

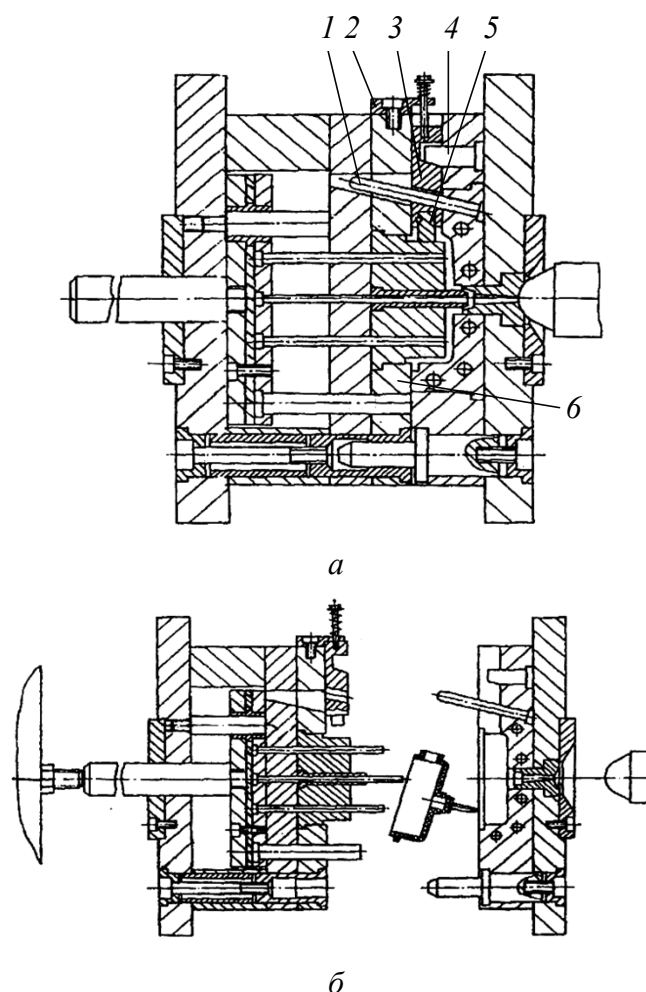


Рис. 4.5. Литьевая форма с отверстием на боковой поверхности изделия

Надо отметить, что выбор конструкции литьевой формы определяется не только конфигурацией изделия, но и многими другими факторами: видом пластмассы, серийностью выпуска изделий, требованиями к их точности и внешнему виду, себестоимостью и т. д.

4.1.4. Заполнение оформляющей полости формы

Заполнение литьевой формы расплавом является ключевым процессом литьевого метода формования полимерных материалов. Можно сформулировать следующее общее для всех классов полимерных материалов требование к условиям проведения операции

впрыска: в конце этой операции весь объем оформляющей полости литевой формы должен быть заполнен монолитным расплавом, причем состояние последнего должно быть таким, чтобы остаточные напряжения в материале отвердевшего изделия были минимальными.

Заполнение полости формы, температура которой ниже температуры кристаллизации (стеклования) полимера, происходит при непрерывном охлаждении расплава, причем вязкость его меняется в очень широких пределах: от некоторого значения при начальной температуре заполнения T_0 до бесконечности при температурах, близких к температуре кристаллизации. Естественно, при этих условиях путь растекания расплава в полости формы является конечной величиной, зависящей как от заданных параметров процесса (температур литья и формы, давления литья, начальной скорости заполнения) и геометрии оформляющей полости, так и от температуропроводности полимера и зависимости этой характеристики от температуры в интервале температур литья и формы.

Зависимость коэффициента температуропроводности a полистирола 1 и полипропилена 2 от температуры приведена на рис. 4.6. Из рисунка видно, что характер зависимости коэффициента температуропроводности a от температуры для аморфных полимеров принципиально отличается от этой зависимости для кристаллических полимеров. Для аморфных полимеров в области температуры стеклования T_g приведенная зависимость не претерпевает изменений (фазовый переход второго рода), а наличие ярко выраженного минимума у кривой для полипропилена в узкой области $\Delta T_{пл}$ около температуры плавления $T_{пл}$ свидетельствует о значительной скрытой теплоте плавления (фазовый переход первого рода), что следует учитывать при анализе процесса заполнения формы.

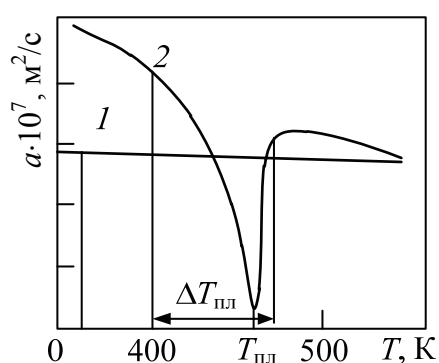


Рис. 4.6. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры

Одной из наиболее распространенных форм реологического уравнения, описывающего деформационное поведение расплавов полимеров, является «степенной закон»:

$$\begin{aligned}\tau &= m\dot{\gamma}^n; \\ m &= m_0 \exp \frac{b}{T - T_\phi}; \\ T_\phi &= T_g \text{ или } T_\phi = T_{\text{пл}},\end{aligned}\tag{4.1}$$

где τ – напряжение сдвига, Па; m , n – реологические коэффициенты; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с^{-1} ; T_g – температура стеклования, К; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления, К; T_ϕ – температура в форме, К.

Температурная зависимость коэффициента m для аморфного (полистирол – 1) и кристаллического (полипропилен – 2) полимеров представлена на рис. 4.7.

Слева внизу рисунка диапазон температур стенки формы, справа – диапазон температур литья. Штриховые линии – экстраполяция опытных данных.

На основании этих данных можно сделать следующие выводы: 1) вязкость аморфного полимера монотонно растет с уменьшением температуры, обращаясь в бесконечность в области T_g ;

2) вязкость кристаллического полимера, будучи менее чувствительной к температуре, в области $T_{\text{пл}}$ претерпевает скачок, обращаясь в бесконечность. Для аморфного полимера справедливо неравенство

$$T_g - T_c \ll T_0 - T_g,\tag{4.2}$$

в то время как для кристаллического полимера

$$T_0 - T_{\text{пл}} \ll T_{\text{пл}} - T_c,\tag{4.3}$$

где T_c – температура стенки формы, К.

Учитывая эти заключения, а также то, что $T_{\text{пл}}$ намного больше T_c и температура полимера в поперечном сечении канала меняется от некоторой максимальной величины до температуры стенки формы T_c , можно предположить следующее.

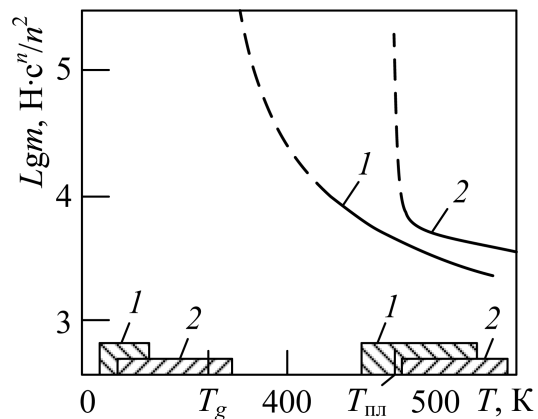


Рис. 4.7. Температурная зависимость коэффициента m

При заполнении формы кристаллическим полимером имеются две области (рис. 4.8: I – заполнение полости формы; II – профиль скоростей): застывшего на стенках, не участвующего в течении полимера с температурой T_2 , и текущего между ними расплава с температурой T_1 . При этом граница раздела ядра и застывших слоев (граница фазового перехода первого рода), имеющая температуру T_* , сосредоточена в довольно узкой области возле координаты $y_0(t)$, существенно меньшей, чем $d/2$, что подтверждается резким изменением характера функций $m(T)$ и $a(T)$ в узкой области около T_* (рис. 4.8).

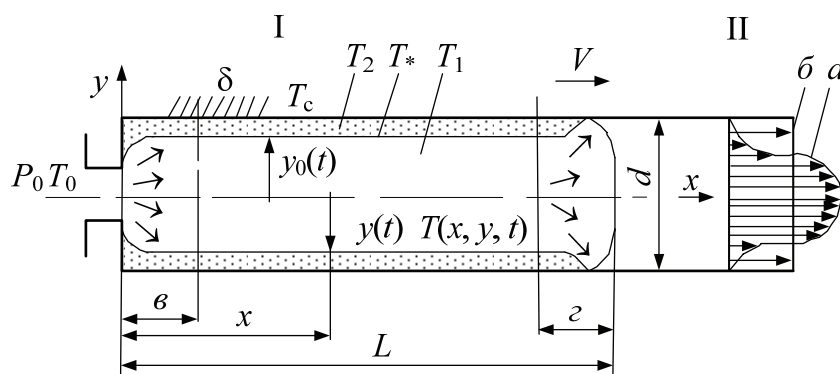


Рис. 4.8. Схема течения полимера

Таким образом, расплав течет в канале, образованном застывшим слоем полимера. Пристенная часть застывшего слоя образуется сразу же с приходом в данную точку полости фронта потока: параллельные в основной массе потока линии тока искривляются в области фронта в направлении к стенкам полости, причем, попав на них, расплав сразу же отвердевает. Сдвиговые напряжения, возникающие в потоке, приводят к интенсивной ориентации цепных молекул полимера в направлении течения. Степень ориентации выше в тех местах потока, в которых скорость сдвига максимальна, т. е. в узкой области. Попав в область фронта, молекулы полимера изменяют направление движения, что приводит к исчезновению приобретенной ранее ориентации, в связи с этим пристенная область слоя формируется мало ориентированным полимером. После ухода фронта потока от данного места стенки формы толщина слоя продолжает здесь нарастать за счет охлаждения и «налипания» сильно ориентированных молекул, движущихся в слое.

Охлаждение приводит к фиксации приобретенной ими ориентации, так что область поверхностных слоев материала изделия,

за исключением узкого пристенного слоя, формируется сильно ориентированным полимером.

Поверхность фронта потока, несмотря на кратковременность пребывания в ней материальных частиц, также охлаждается за счет контакта с холодным воздухом в полости. В наибольшей степени это наблюдается в области фронта потока близлежащей к стенке полости.

При выборе рационального сочетания параметров режима на стадии впрыска следует иметь в виду, что какое-либо изменение любого из параметров способствует уменьшению степени охлаждения расплава в процессе напряженного состояния материала изделия.

График зависимости длины затекания L от времени t показан на рис. 4.9. Как видно из рисунка, полное время течения t_{\max} , соответствующее предельной длине отливки L_{\max} , довольно велико, однако основная часть длины (около 90% от L_{\max}) заполняется за 3 с; следующее за этим медленное течение вплоть до момента t_{\max} существенно не влияет на полную длину отливки L .

Условия заполнения оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики отлитых изделий, так как охлаждение и частичное затвердевание материала в форме во время впрыска приводит к «замораживанию» в материале напряженного состояния и молекулярной ориентации, имеющих место при течении расплава в оформляющей полости.

Уровни остаточных напряжений, степень ориентации материала изделия и другие свойства достаточно уверенно можно характеризовать величиной усадки изделия в направлении течения в форме при последующем нагревании изделия выше температуры стеклования (кристаллизации) на 30–40 К.

Зависимость высокоэластической усадки Δ от давления литья p показана на рис. 4.10, причем с целью

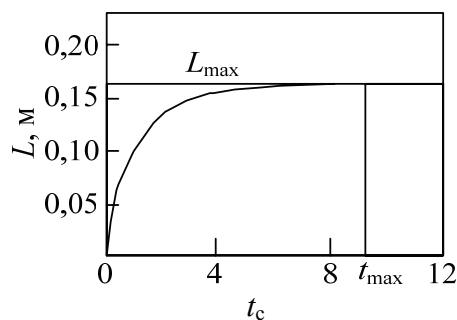


Рис. 4.9. График зависимости длины затекания L от времени t

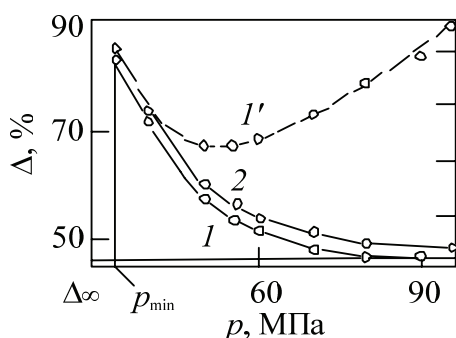


Рис. 4.10. График зависимости высокоэластической усадки от давления

определения влияния p на усадку только в течение впрыска (l , 2 – выдержка под давлением отсутствует, l' – выдержка под давлением имеется, p_{\min} – минимальное давление литья, при котором начинает заполняться полость).

При выборе рациональной совокупности параметров режима на стадии впрыска необходимо иметь в виду, что каждое изменение любого из параметров, которое ведет к смещению степени охлаждения расплава в процессе его течения в форме, влечет за собой снижение напряженного состояния в материале изделия.

По мере движения расплава в полости, соответственно скорости его течения и скорости охлаждения изделия, толщина остывшего слоя увеличивается, а толщина подвижного слоя в центре потока уменьшается. На определенной длине заполнения, когда толщина остывших слоев при одинаковой температуре пуансона и матрицы достигает толщины, равной половине толщины изделия, течение расплава прекращается. Расстояние от места впуска до места остановки его течения при данной толщине и ширине определяет достигаемую длину изделия.

Для определения достигаемой длины пути L течения ее ставят в зависимость только от толщины S изделия. Существует эмпирическая формула, при помощи которой предлагается приблизительно определять минимальную толщину стенки в зависимости от длины течения расплава для материалов низкой вязкости.

$$S_{\min} = L / 100 + 0,5 \text{ мм.} \quad (4.4)$$

Для изделий из материалов повышенной вязкости минимальную толщину S увеличивают на коэффициент, принимающий значение от 1,8 до 2,5. Отношения L / S , которыми предлагают пользоваться для определения достигаемой длины литья, следующие:

обычный полистирол	175 / 1
ударопрочный полистирол	225 / 1
полиэтилен ВП.....	225 / 1
полиэтилен НП	240 / 1
полипропилен	260 / 1

Для поликарбоната предлагается применять:

L , мм	25	50	75	100	150	200	300	350	400	450	500	550	600
S , мм	0,9	1,1	1,4	1,6	2,2	2,6	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3

В табл. 4.1 приведены значения L и S для полиамида.

Таблица 4.1

**Толщина стенки изделия из полиамида в зависимости от длины течения
и температуры формы**

S , мм	L , мм, при t_{ϕ} , К		
	288,6	321,9	355,2
0,51	81,5	86,5	96
0,76	173	184,7	208,8
1,02	205	304,8	340
1,27	426	460	508

Однако необходимо учитывать ориентировочный характер этих рекомендаций. Достижимая длина изделия из какого-нибудь материала, кроме толщины, еще зависит от ширины, т. е. от фронта растекания, потому что при его расширении уменьшается линейная скорость течения, что увеличивает толщину пристенного слоя, и течение прекращается.

Давление расплава на стенки полости является основным фактором в процессе литья, который влияет как на заполнение полости, так и на уплотнение материала отливки на этапе выдержки под давлением. При проектировании форм учитывают максимальное давление, которое развивается в полости во время уплотнения отливки.

Каждый полимер перерабатывается в оптимальных для него интервалах. Для определения максимально допустимого p_{\max} , достаточного для качественного оформления изделий из полистирола в одногнездных формах с точечными литниками в центре и с соотношением сторон, равным 1, можно рекомендовать сведения табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Толщина стенки изделия из полистирола в зависимости от длины течения
и давления литья**

S , мм	Давление p_{Γ} , МПа, при L / S								
	30	35	40	50	60	70	80	90	100
0,50	26	28	30	—	—	—	—	—	—
0,75	25	27	29	—	—	—	—	—	—
1,0	24	26	28	29	—	—	—	—	—
1,25	23	25	27	28	29	—	—	—	—
1,50	22	24	26	27	28	29	—	—	—
1,75	21	23	25	26	27	28	29	—	—
2,0	20	22	24	25	26	27	28	29	—
2,25	19	21	23	24	25	26	27	28	29
3,0	—	19	21	22	23	24	25	26	27
4,0	—	—	20	21	22	23	24	25	26
5,0	—	—	—	20	21	22	23	—	—

Для других изделий рекомендуется зависимость

$$p_{\max} = p_{\text{т}} K_{\text{м}} K_{\text{л}}^{d_n / d_t} K_{\text{к}}^{A/B}, \quad (4.5)$$

где $p_{\text{т}}$ – давление согласно табл. 4.2; $K_{\text{м}}$ – коэффициент, который определяет размер литниковых систем для разных материалов (полистирол – 1,0; полиамид – 0,9; полиолефины – 1,1; УПС – 1,1; полиметилметакрилат – 1,25; поликарбонат – 1,4); $K_{\text{л}}$ – коэффициент, который учитывает структуру литниковой системы ($K_{\text{л}} = 1,05$); d_n – средний диаметр центрального литника; d_t – диаметр точечного литника; $K_{\text{к}}$ – коэффициент, который характеризует форму, конфигурацию изделия ($K_{\text{к}} = 1,03$); A – длина изделия; B – ширина изделия.

4.1.5. Система формообразующих деталей

Система включает в себя детали, оформляющие поверхности, которые при замкнутых полуформах образуют оформляющую полость. Конструкция деталей этой системы должна обеспечить оптимальную продолжительность цикла, качественное заполнение оформляющей полости, выталкивание и сталкивание отформованных изделий.

Формообразующие детали делятся по ряду признаков: характеру поверхностей формирования – гладкие, резьбовые, с поднутрениями; состоянию поверхностей формирования – зеркальные, матовые, шагреньевые; сложности – сплошные, вставные, составные; точности формовальных элементов изделия – нормальные, позиционные; способу перемещения подвижных формообразующих элементов; геометрической форме изделий – круглые, прямоугольные, кольцевые, трубчатые, корпусные и т. д.; технологии изготовления – механообработка, давление (холодное, полугорячее, горячее выдавливание, гальванопластика, лазерная и электроискровая обработка и т. д.). Формообразующие детали, кроме оформляющих поверхностей, имеют поверхности, которые принимают участие в соединении с другими деталями (посадочные, центрирующие), контактирующими (опорные), попадающими в плоскость разъема формы (это значит циклично охлаждаемые – нагреваемые).

Конструирование оформляющей поверхности (Б и Г, см. рис. 4.3) начинается с определения границ части поверхности изделия, которая оформляется данной деталью формы. С этой целью изделие

ориентируется относительно формы для определения линии разъема между полуформами В с учетом извлечения изделия из матрицы и самосъема с пуансона, а также распределения поверхностей Б и Г между ними. Но пуансон или матрица могут быть сплошными и составными. При сплошной конструкции линия В является единственной границей их поверхностей Б и Г. Когда они сконструированы составными и установлены неподвижными или перемещающимися, то появляются дополнительные линии разъема. Таким образом, поверхность изделия может распределяться между многими формообразующими деталями, а место стыка их оформляющих поверхностей оставляет на изделии следы. При этом желательно, чтобы границы между полуформами и оформляющими поверхностями совпадали с натуральными границами и переходами на изделии с тем, чтобы на нем по возможности спрятать следы от стыка деталей. Тут, на стыках, должно быть обеспечено точное совпадение кантов как по высоте, так и по плотности соединения, что возможно только при отсутствии завалов (радиусов) острых кантов. Допустимость следов на изделии должна быть обусловлена конструкцией изделия. Для точного совпадения стыков предусматривается их совместная доводка после обработки с минимальным припуском, который не превышает 0,01 мм. В зависимости от назначения изделия шероховатость поверхностей Б и Г $Ra = 0,016-0,020$.

При выборе величины уклонов необходимо стремиться, чтобы изделие осталось на пуансоне (см. рис. 4.3), и также учитывать, что усадка по толщине ослабляет сцепление изделия с матрицей и увеличивает силы трения, которые удерживают его на пуансоне. Поэтому уклоны в матрице должны быть минимальными в зависимости от технологичных неравенств, величины усадки согласно толщине и точности взаиморасположения поверхностей. Они принимаются в границах 0,010–0,015 на каждые 100 мм длины (20"). На пуансонах для цилиндрических изделий уклоны должны быть в 2 раза больше. Уклоны, предусмотренные конструкцией изделия, удачно сочетаются с требованиями к уклонам стенок полости формы.

К основным формообразующим ее деталям относятся матрицы, пуансоны, знаки и др.

В матрицах образовывается, как правило, внешняя поверхность будущей пластмассовой детали. Они являются наиболее трудоемкими деталями форм, потому особое внимание необходимо обращать на технологичность их конструкции. Матрицы могут быть как сплошными, так и составными.

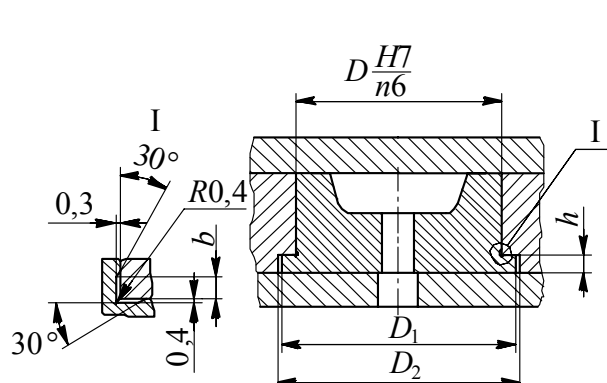


Рис. 4.11. Конструкция сплошной матрицы

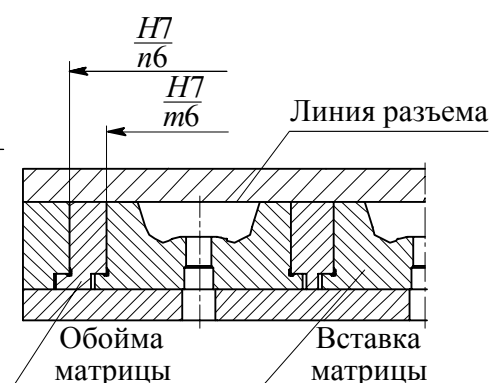


Рис. 4.12. Конструкция составной матрицы

Конструкция сплошной матрицы показана на рис. 4.11.

Сплошные матрицы надежные в эксплуатации, более прочные. Внешние контуры матрицы обычно имеют цилиндрическую или прямоугольную форму. Придавать матрицам другую форму нецелесообразно, ведь это увеличивает трудоемкость производства самих деталей и посадочных отверстий в плите матрицедержателя.

Производство сплошных матриц не всегда целесообразно и технологически оправдано. Матрицы конструируют сборными, когда необходимо создать сложные пластмассовые изделия с большим количеством разных пазов, отверстий, размещенных в направлении движения полуформ и перпендикулярно ему. Такие матрицы изготавливать сплошными технологически нецелесообразно. Конструкция составной матрицы показана на рис. 4.12.

Большое количество вариантов конструкций составных матриц связана с разнообразием пластмассовых изделий. Но необходимо создать такую конструкцию, чтобы в местах стыка составных частей не затекал полимер, щели были в границах 0,002–0,003 мм.

Пуансоны, как правило, оформляют внутреннюю часть изделия. Они закрепляются в специальные плиты – пуансонодержатели. Крепление может быть на заплечиках (рис. 4.13) на винтах с фиксирующим штифтом (рис. 4.14).

Сплошные пуансоны более прочные, лучше противостоят внешним нагрузкам. В них более удобно размещать охлаждающие каналы, полости. Однако изготовление сплошных пуансонов не всегда возможно и технологически оправдано. Потому в них часто используют разнообразные знаки, вставки для образования локальных рельефных деталей конфигурации изделия.

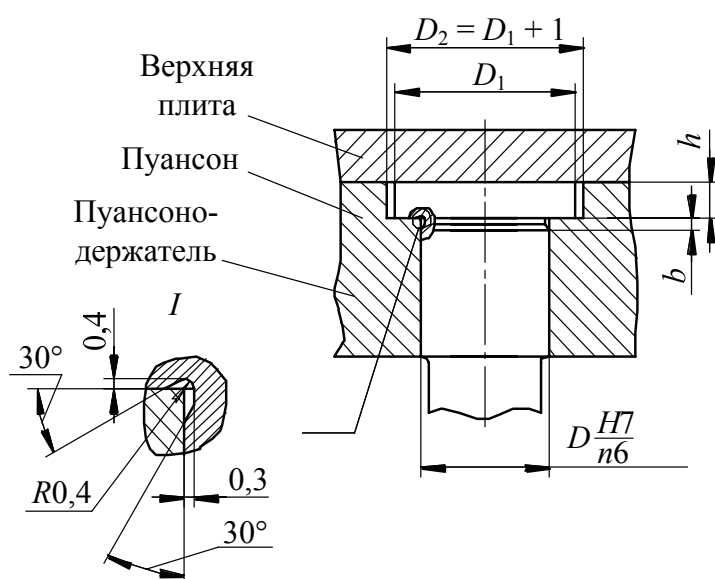


Рис. 4.13. Крепление пуансона на заплечиках

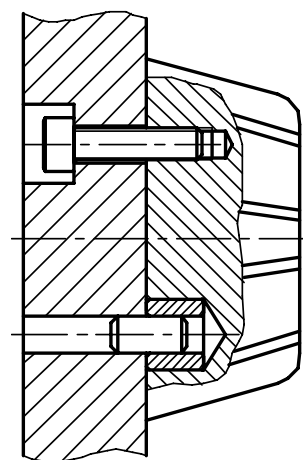


Рис. 4.14. Крепление пуансона на винтах со штифтом

Гладкие формовочные знаки образуют в изделии гладкие отверстия или окна. Они могут быть неподвижными и подвижными. В этом случае это знаки-выталкиватели. Как в подвижном, так и в неподвижном соединении знаков высота посадочной части должна быть меньше за общую высоту.

В неподвижных соединениях (рис. 4.15) это необходимо для того, чтобы сделать обработку более легкой после термообработки гладких круглых отверстий в матрице или пуансоне. В подвижных соединениях (рис. 4.16) меньшая высота посадочной части необходима для убывания площади трения сопряженных частей.

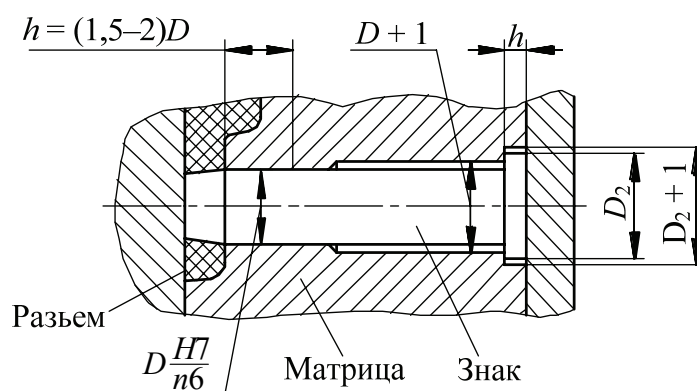


Рис. 4.15. Неподвижный знак

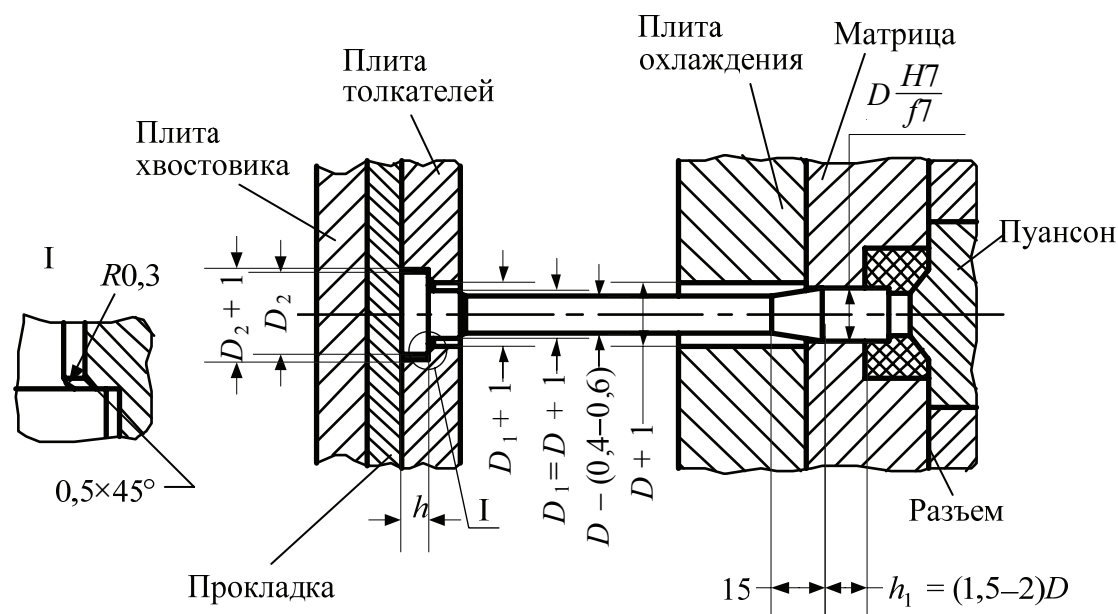


Рис. 4.16. Подвижный знак (выталкиватель)

Высота посадочной части для подвижных и неподвижных знаков принимается в границах $(1,5-2)D$ посадочного отверстия. Независимо от конфигурации рабочей части знака его посадочную часть и заплечик делают круглыми. В подвижных формообразующих знаках диаметр утолщенной нижней части, которая вставляется в плиту выталкивателей, должен быть на 1 мм больше за диаметр рабочей части. Посадка в соединения знак – плита толкателей в стационарных формах, которые имеют прочную связь матрицы с формообразующим знаком, делается свободноплавающей, что компенсирует неточность размещения отверстий в матрице и плите выталкивателей.

Резьбовые формообразующие знаки предназначены для оформления внутренней резьбы в изделиях. Внешняя резьба чаще всего формируется раздвижными полуформами. Перемещение подвижных элементов при оформлении резьбы всегда является сложным и включает или прямолинейные движения, или сочетания вращательного и прямолинейного движений. В первом случае чаще используют прерывистую резьбу.

При разьеме формы (рис. 4.17) упором литейной машины приводится в движение плита 1 съема, которая сначала перемещает изделие 4 и связанные с ним сегменты 3 в продольном направлении. Одновременно под воздействием сжимающего элемента 2 сегменты 3

сближаются в радиальном направлении и выходят из положения зацепления с отливкой. При дальнейшем перемещении плиты *1* съема сжимающий элемент *2* упирается в конец паза *a* клина и останавливает сегменты *3*. Затем плита *1* съема, двигаясь, скидывает готовые изделия *4* из вкладышей.

На рис. 4.18 дана форма для оформления резьбы на внутренней поверхности изделия с автоматическим выворачиванием резьбового знака. Одновременно с размыканием формы включается электропривод *8*. Сначала происходит разъем между матрицей *5* и плитой *1* крепления, а затем – матрицей *5* и пуансонодержателем *6* к образованию тягами *2* и *14* зазоров. Ведущий эксцентрик *10*, который приводится во вращение от электродвигателя *8* через клиноременную *9* и зубчатую *11* передачи, придает плите *12* плоскопараллельное движение. В итоге резьбовые знаки *4* приводятся во вращение штифтами *13*. Во время выкручивания резьбовых знаков изделия *3* постоянно прижаты к втулке *7*, которая с оформляющей стороны имеет пазы и удерживается от проворачивания.

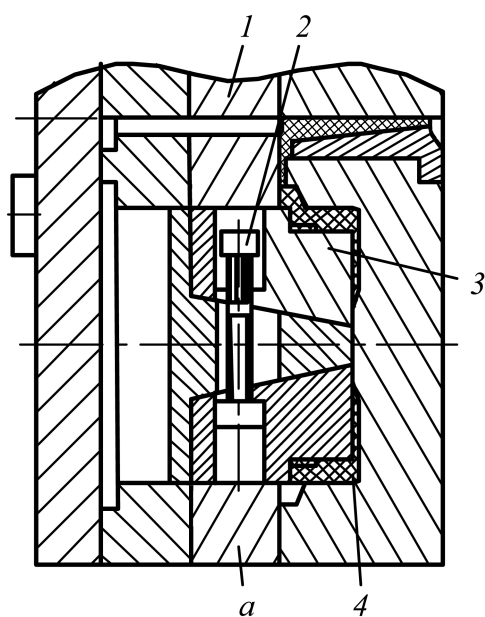


Рис. 4.17. Форма для оформления резьбы на внутренней поверхности изделия с клиновыми резьбовыми знаками

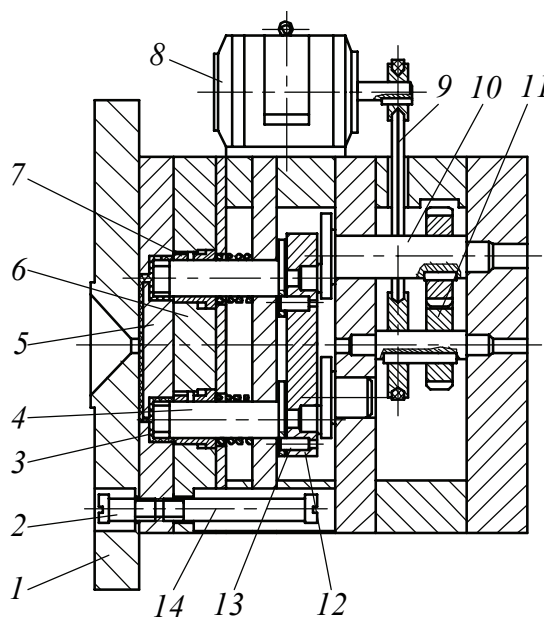


Рис. 4.18. Форма для оформления резьбы на внутренней поверхности изделия с автоматическим выворачиванием резьбового знака

4.1.6. Системы литниковых каналов

Холодноканальные системы (ХКС). Система литниковых каналов является одним из основных элементов литьевой формы, при помощи ее происходит соединение сопла литьевой машины с формой. Литниковая система – эта совокупность каналов, через которые расплав полимера попадает в формообразующее гнездо.

От конструкции литниковой системы зависит характер заполнения оформляющей полости, которая определяет основные качественные показатели изделия. Такие факторы, как размещение впускных каналов, их число, форма и размеры сечения, их взаиморасположение с осью изделия и разводящими каналами, определяют потери давления, уровень остаточных и ориентационных напряжений и анизотропию свойств изделия. Число впускных каналов и созданные ими направления потоков расплава в полости обуславливают наличие спаев, степень уменьшения прочности в местах их стыка, усадку вдоль и поперек направления течения и технологично достижимую точность изделию. Наконец, конструкция системы влияет на производительность процесса и себестоимость изделий. Газоотводные каналы служат для отвода из оформляющей полости воздуха и газов, облегчая заполнение полости и предотвращая их проникновение в расплав, что увеличивает прочность изделия в местах спаев.

Основное назначение литьевой системы – как можно скорей и самым коротким путем заполнить гнездо формы при минимальных потерях тепла и при отсутствии холодных спаев на изделии. В многогнездных формах необходимо также, чтобы расплав одновременно попадал во все гнезда формы при одинаковом давлении и температуре. При литье крупногабаритных деталей, которые изготавливают заливкой через несколько впускных каналов, необходимо, чтобы расплав попадал в форму через литниковые каналы, одинаковые по длине и сечению, чтобы по линиям стыка соприкасались потоки расплава одинакового состояния. Литник должен иметь минимальный вес, легко отделяться от отливки и не портить ее внешнего вида (не оставлять следа течения или холодных спаев). Размеры литника в значительной степени зависят от размеров изделия.

Конструкции литниковых систем можно разделить на следующие основные типы: с центральным литником с непосредственным впуском расплава в форму и разводящими и впускными каналами; промежуточной плитой (холодноканальные, горячеканальные);

точечными и впускными каналами (холодноканальные, горячеканальные). Существуют также безлитниковые системы с контактом на сферы и плоским контактом.

В общем виде литниковая система включает три основных элемента (рис. 4.19): центральный литниковый канал 2 в литниковой втулке 1, куда материал попадает через сопло из материального цилиндра машины; разводящий канал 4 в плите 3, который обеспечивает расплав от центрального; впускной канал 5, по которому расплав непосредственно попадает в оформляющую полость 6. Наличие всех трех элементов литейной системы или отсутствие каких-либо из них связано с конфигурацией отливаемого изделия, конструкцией формы. Литниковая система одногнездной формы часто состоит из одного литникового канала. Многогнездные формы всегда включают все три вида каналов.

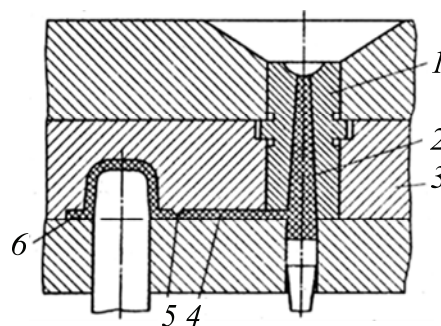


Рис. 4.19. Основные элементы литниковой системы

Центральный литниковый канал – первый и самый простой элемент системы. Он образуется в литниковой втулке (ГОСТ 22077) с коническим отверстием (рис. 4.20). Сечение центрального литникового канала увеличивается с возрастанием вязкости расплава и толщины стенки изделия для обеспечения течения расплава в литниковой системе и подпитки материала, который заполнил оформляющую полость.

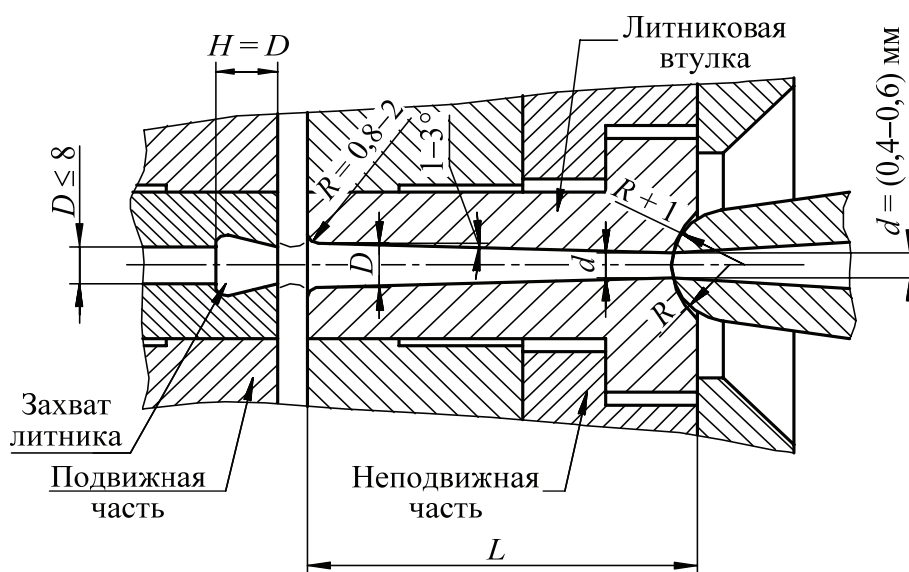


Рис. 4.20. Размеры литниковой втулки

Диаметр d на входе в литниковую втулку можно определить по следующей зависимости:

$$d = \frac{\sqrt{V}}{\pi v \tau}, \quad (4.6)$$

где V – объем впрыска, см³; v – средняя скорость течения материала в литниковой втулке, см/с ($v = 300\text{--}600$ см/с); τ – продолжительность впрыскивания, с (технологическая характеристика машины зависит от массы и толщины стенки отливки).

Длина центрального литникового канала $L \leq (5\text{--}9)d$.

Сопло цилиндра во время впрыскивания прижато к литнику и уплотняет место соединения сопла с формой. Центральный литник на выходе закругляют ($R = 1\text{--}3$ мм). Литниковую втулку по высоте надо делать на 0,2 мм меньшей, чем толщину плиты, в которой она установлена, чтобы компенсировать возможную деформацию при прижатии сопла. Отверстие литевой втулки полируют до зеркального блеска. При переработке материалов, расплавы которых вызывают коррозию металлов, на внутреннюю поверхность втулки дополнительно наносят твердое хромовое покрытие.

Литниковую втулку, как правило, закрепляют в форме. Если этого не сделать, то при отходе сопла от литевой втулки последняя может быть выжата из формы остаточным давлением. Обычно втулку делают с буртиком.

С целью уменьшения придавливания сопла к форме, а значит, и уменьшения утечки материала соприкасающиеся поверхности втулки и сопла делают сферическими. Необходимым условием является выполнение радиуса сферы литевой втулки на 0,5–1 мм больше радиуса сферы сопла. Нарушение этих соотношений ведет к появлению внешней «заклепки», которая препятствует удалению литника.

Напротив внутреннего отверстия литевой втулки в форме выполняют заглубление (захват литника), в которое поступает первая охлажденная порция материала. Обычно оно имеет обратный конус и одновременно служит для удаления литника из литниковой втулки.

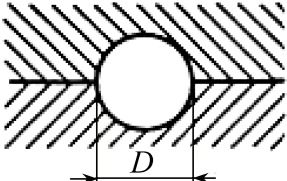
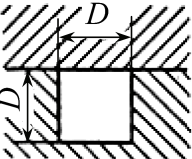
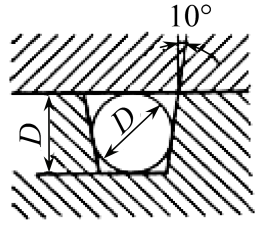
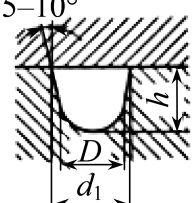

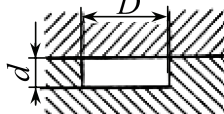
Разводящие каналы. При впрыскивании расплава в форму с большой скоростью его внешние слои, соприкасающиеся со стенками формы, охлаждаются за счет отведения тепла и становятся малоподвижными. В центре литникового канала расплав движется с большой скоростью, благодаря чему осуществляется заполнение и подпитка формы. Это определяет геометрию разводящих каналов,

для которых с целью экономии материала и по условиям охлаждения необходимо, чтобы соотношения площади поверхности канала и его объема были как можно меньшими. В табл. 4.3 приведены распространенные типы поперечных сечений разводящих каналов и значения величины соотношения площади поперечного сечения каналов и его периметра для некоторых типов каналов.

Размеры канала зависят от размеров отливки, вида формы и материала, который перерабатывается. Поперечное сечение литникового канала должно быть большим в той степени, насколько более крупная отливка, а при одинаковых отливках – насколько большая толщина стенок. Большое поперечное сечение облегчает заполнение формы, потому что сопротивление течению тут меньше, чем в небольших каналах. В то же время размеры литниковых каналов влияют на количество отходов и продолжительность охлаждения.

Таблица 4.3

Основные виды разводящих каналов

Сечение разводящего литникового канала		Отношение площади сечения канала к его периметру S/P , мм
		$0,25D$
 <i>a</i>	 $D - \delta_{\max} + 1,5 = 0,7d_1$ $h = 2/3D$ <i>б</i>	Для <i>a</i> – $0,25D$ Для <i>б</i> – $0,20D$
		$0,153D$
		При $d = D/2$ $0,166D$ При $d = D/4$ $0,1D$ При $d = D/5$ $0,071D$

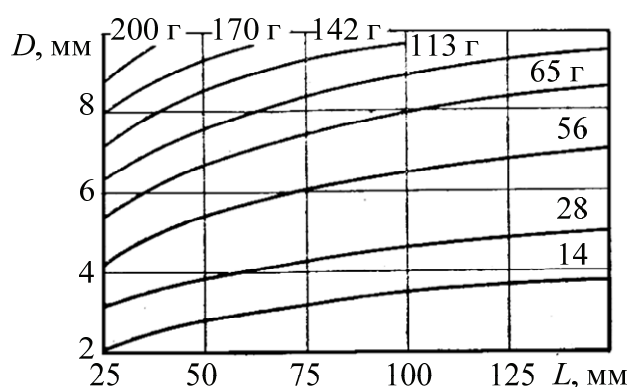


Рис. 4.21. Зависимость диаметра канала от его длины и массы отливки

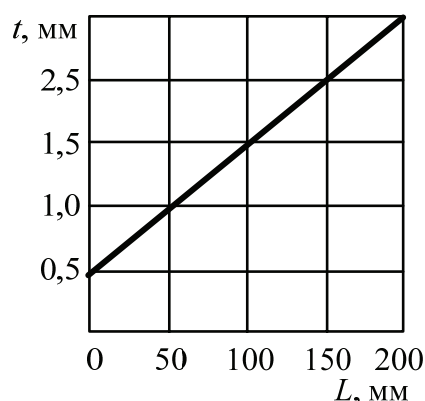


Рис. 4.22. Зависимость длины канала от толщины стенки его отливки

Оптимальным является круглое сечение канала, при котором потери тепла и на трение минимальные. Круглый канал для облегчения извлечения из него литника должен быть разделен в плоскости разъема формы на равные части, которые одинаково входят в форму со стороны сопла и со стороны выталкивателя. Но это сложно сделать.

Чаще всего используют параболическое сечение каналов. Для литьевых термопластов повышенной вязкости применяют трапециевидальные каналы со скошенными ребрами.

Для деталей массой меньше 200 г диаметр основного разводящего канала D , мм, определяется согласно формуле

$$D = \frac{\sqrt{G} \cdot \sqrt{L}}{8}, \quad (4.7)$$

где G — масса детали, г; L — длина канала, мм.

Для определения оптимальных размеров сечений каналов в зависимости от длины канала и массы детали, когда толщина стенки детали не превышает 3 мм, пользуются рис. 4.21. Для поликарбоната и поливинилхлорида размеры сечений необходимо увеличить на 0,25.

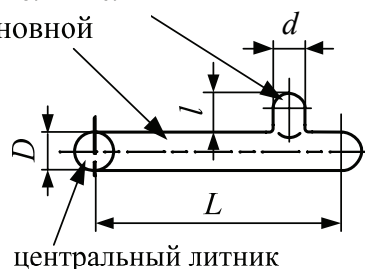
Для определения длины канала в зависимости от толщины стенки детали используют рис. 4.22.

В случаях, когда кроме основного разводящего канала есть дополнительные, из которых выполняется впуск в гнездо, выдерживают соотношения размеров, показанные на рис. 4.23. Когда количество дополнительных разводящих каналов больше двух, используют соотношения, приведенные на рис. 4.24. Рекомендуется также, чтобы основные каналы заходили за линию пересечения с дополнительными каналами, образуя отстойники, как показано на рис. 4.24.

Разводящие каналы:

дополнительный

основной



$$l \leq 75$$

$$D = 6 L = 75$$

$$D = 8 L = 75-250$$

$$D = 10 L > 250$$

центральный литник

Рис. 4.23. Соотношение размеров литниковых каналов

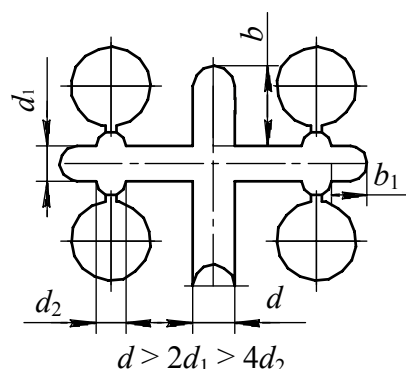


Рис. 4.24. Конструкция отстойников

В многогнездных формах разводящие каналы делают так, чтобы все гнезда заполнялись одновременно и равномерно. Это возможно, когда все литниковые каналы имеют одинаковую длину и сечение, а гнезда размещены по кругу относительно центрального литника (звездное размещение, рис. 4.25).

Конструкции с параллельным размещением каналов, которые также позволяют получать впуски, равноотдаленные от центрального литника, представлены на рис. 4.26.

Когда такое размещение невозможно, используют рядный литник, который включает в себя основной разводящий канал и несколько дополнительных (рис. 4.27, а). Рядный литник может быть симметричным и односторонним (рис. 4.27, б).

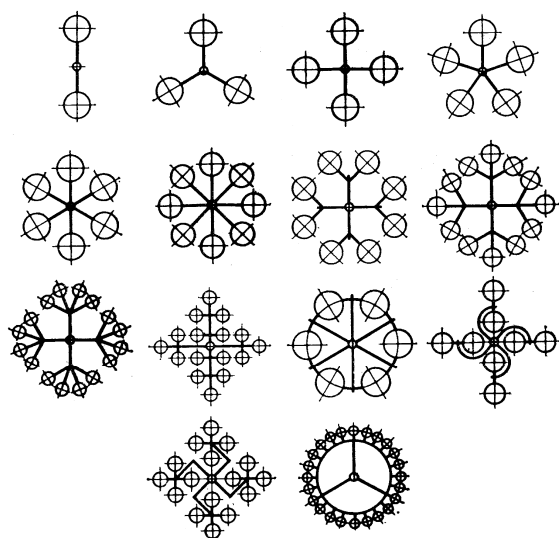


Рис. 4.25. Звездное размещение каналов

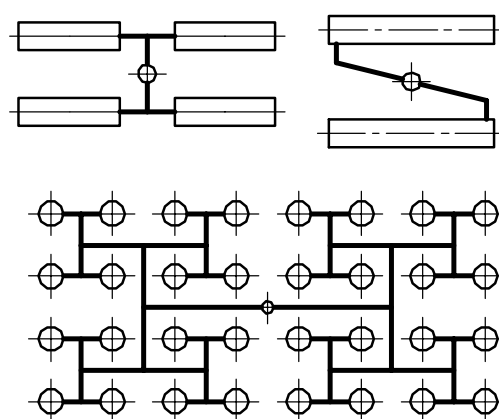


Рис. 4.26. Параллельное размещение каналов

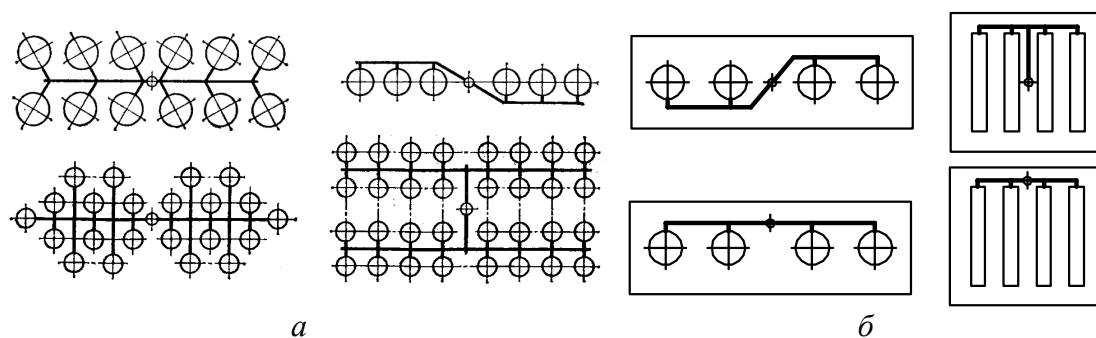


Рис. 4.27. Конструкция рядных литников

Когда нет возможности распределить все гнезда на одинаковом расстоянии от центрального литника, нужно обеспечить одинаковое гидравлическое сопротивление каждого канала за счет разных сечений впуска.

Впускные литниковые каналы представляют собой последнее звено литниковой системы, которая подводит материал к оформляющей полости. Размеры и размещение впуска определяют качество отлитых изделий. Канал сужается с целью повышения скорости впрыска расплава в полость, повышения его температуры, текучести. Выбор места впуска связан с необходимостью обеспечить наименьший путь течения массы. Наиважнейшей задачей является правильное конструирование переходного участка от разводящего к впускному литнику.



Рис. 4.28.
Переходный
участок
от разводящего
к впускному
литнику

На рис. 4.28 показан рекомендуемый переходный участок (*a* – затвердевший слой полимера). Идеальное размещение впускного канала – на линии центра разводящего канала (обеспечивает перетекание расплава в полость формы до полного затвердевания литника). Такое размещение достигается только при круглом разводящем канале. Трапецеидальный разводящий канал с этой точки зрения неудовлетворительный.

При определении размеров впускных каналов необходимо руководствоваться следующими соображениями:

- для уменьшения потерь давления при заполнении формы длина впускных каналов должна быть по возможности небольшой;

– площадь сечения канала должна быть достаточно мала, чтобы обеспечить хорошее и по возможности автоматическое отделение литника от изделия без ухудшения его внешнего вида;

– площадь сечения канала не должна быть очень мала, потому что это ведет к большим потерям давления, препятствует заполнению внутренних и внешних усадочных дефектов и дефектов в зоне впуска (полосы, складки и т. д.), кроме того, возможна термическая деструкция материала из-за его перегрева при прохождении с высокой скоростью через канал малого сечения;

– площадь сечения канала не должна быть очень большой; это усложняет отделение литников и ухудшает внешний вид изделия (следы от литника), а также приводит к лишнему уплотнению расплава, увеличению степени ориентации полимера в детали и возникновению больших внутренних напряжений в зоне впуска.

При литье термопластов наиболее распространенные впускные каналы с круглым (точечным) и прямоугольным поперечным сечением. Размеры и размещение впускных каналов определяются свойствами термопласта и особенностями изделия (его толщиной, объемом и т. д.).

Убыванием высоты прямоугольного впуска регулируют продолжительность выдержки под давлением, а убыванием ширины – условия заполнения гнезда формы.

На рис. 4.29 показаны виды, размещение и размерные соотношения впускных литников.

Глубина впускного канала определяет продолжительность отверждения материала в нем. Ее находят по следующим соотношениям:

$$H = tK, \quad (4.8)$$

где t – толщина стенки детали, мм; K – коэффициент, который зависит от материала (для полистирола и полиэтилена – 0,6; полипропилена, поликарбоната – 0,7; полиамида, полиметилметакрилата – 0,8; поливинилхлорида – 0,9).

Ширина впускного канала

$$b = t \frac{\sqrt{A}}{30}, \quad (4.9)$$

где A – площадь поверхности матрицы.

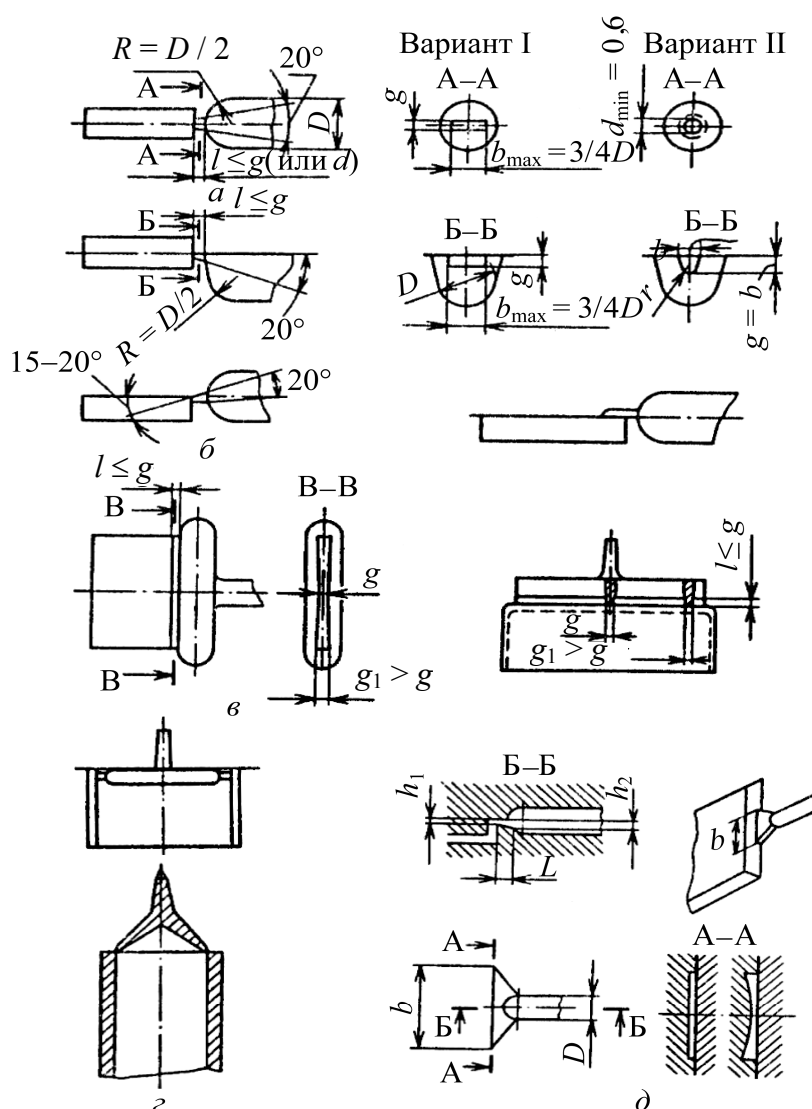


Рис. 4.29. Виды, размеры и размещение впускных литников:
 а, б – прямоугольные или круглые торцовые;
 в – наклоненный; г – кольцевой и зонтичный; д – щелевой

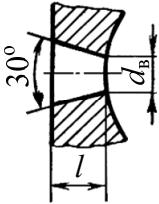
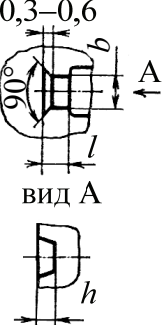
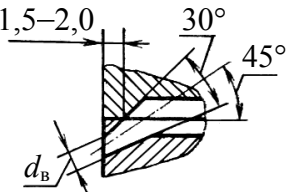
Конструкция и размеры впускных каналов показаны в табл. 4.4.

При конструировании литниковой системы надо внимательно относиться к выбору местонахождения впускного литникового канала. Необходимо придерживаться следующих основных правил:

– впуск должен быть размещен так, чтобы по возможности обеспечить равномерное заполнение и одновременное достижение расплавом сторон оформляющей полости. Полость должна заполняться потоком. При формировании длинных плоских сплошных изделий расплав надо подводить не параллельно большей стороне изделию, а перпендикулярно ему;

Таблица 4.4

Конструкция и размеры впускных каналов

Конструкция впускного канала	H	d_b	$h = b$ (граничное отклонение по H11)	l (граничное отклонение по H14)
	До 0,6	0,5	—	0,6 при $d_b = 0,5-0,6$
	Св. 0,6 до 3,3	$0,85H$	—	0,7 » $d_b = 0,6-0,7$ 0,8 » $d_b = 0,7-0,8$ 0,9 » $d_b = 0,8-1,0$ 1,0 » $d_b = 0,8-1,0$ 1,1 » $d_b = 1,0-1,2$ 1,2 » $d_b = 1,2-1,5$ 1,3 » $d_b = 1,5-2,0$ 1,4 » $d_b = 2,0-2,5$
	Св. 3,3	2,8	—	
	До 0,6	—	0,5	0,6 при $d_b = 0,5-0,6$
	Св. 0,6 до 3,3	—	t, H	0,7 » $d_b = 0,6-0,7$ 0,8 » $d_b = 0,7-0,8$ 0,9 » $d_b = 0,8-0,9$ 1,0 » $d_b = 0,9-1,0$ 1,1 » $d_b = 1,0-1,2$ 1,2 » $d_b = 1,2-1,5$ 1,3 » $d_b = 1,5-2,0$ 1,4 » $d_b = 2,0-3,0$
	Св. 3,3	—	2,0–3,0 (в зависимости от материала)	
	До 0,6 Св. 0,6 до 2,4 Св. 2,4	0,5 $0,85H$ 2,0	—	—

— впуск должен находиться в местах наибольшей толщины изделия и максимального расстояния от участков с тонкими стенками. Когда впуск находится не на самом толстостенном участке отливки, то для ее обычно характерны раковины, утяжины и большой разброс размеров, поскольку время подпитки толстостенных участков уменьшается из-за быстрого затвердевания толстостенного участка. Исключение составляет переработка пенопластов, когда впуск предлагается в самом тонком сечении отливки. В этом случае форма заполняется под давлением газов, которые выделяются при вспенивании. При этом сопротивление формы по мере ее заполнения должно уменьшаться, ведь снижается давление газов;

– впускной канал должен обеспечивать течение материала в том направлении, в котором требуется получить наилучшие прочностные свойства, потому что в направлении ориентации полимера временное сопротивление, ударная вязкость, граница прочности большие, чем в перпендикулярном направлении. Это в особенности важно при литье наполненных волокнами полимеров.

Если предъявить повышенные требования на прочность, точность, отсутствие коробления, убывание влияния спаев и т. д. к изделию, в особенности полимеров с высокой вязкостью, то необходимо применять щелевые впускные каналы. К недостаткам таких каналов необходимо отнести большую трудоемкость отделения литника от изделия (по сравнению с точечными и прямоугольными) и увеличенный след.

Балансировку литниковых систем надо проводить прежде всего посредством впускных каналов.

Точечные впускные каналы получили распространение благодаря возможностям производства с их помощью тонкостенных изделий (до 3 мм) без утяжки в месте подвода литника; отделение литника в момент размыкания формы и, таким образом, полной автоматизации ее работы; абсолютно полной ликвидации литьевых отходов; широкой номенклатуры переработанных термопластов. В итоге скорого затвердевания полимера в точечном впуске снижается остаточное давление в форме, что уменьшает уровень внутренних напряжений в изделии и улучшает условия извлечения отливки из формы.

В зависимости от типа конструкции (рис. 4.30) точечные впускные каналы разделяют следующим образом: с отрывным литником (*а*), безлитниковых (*б*), с предкамерой (*в*).

Диаметр точечных впусков выбирают в зависимости от массы изделия:

Масса изделия, г	10–20	20–40	40–150	150–300	300–500
Диаметр впуска, мм	0,6–0,8	0,8–1,2	1,0–1,8	1,2–2,5	1,5–2,6

Длина впуска обычно равна 0,8 мм. Впуск должен размещаться ровно по центру разводящего канала.

Материал во время продавливания через точечный впускной канал формы в итоге трения, которое возникает между материалом и стенками точечного впускного канала, и внутреннего трения сильно нагревается, размягчается, а вязкость значительно уменьшается. Это требует относительно меньшего усилия для продавливания материала.

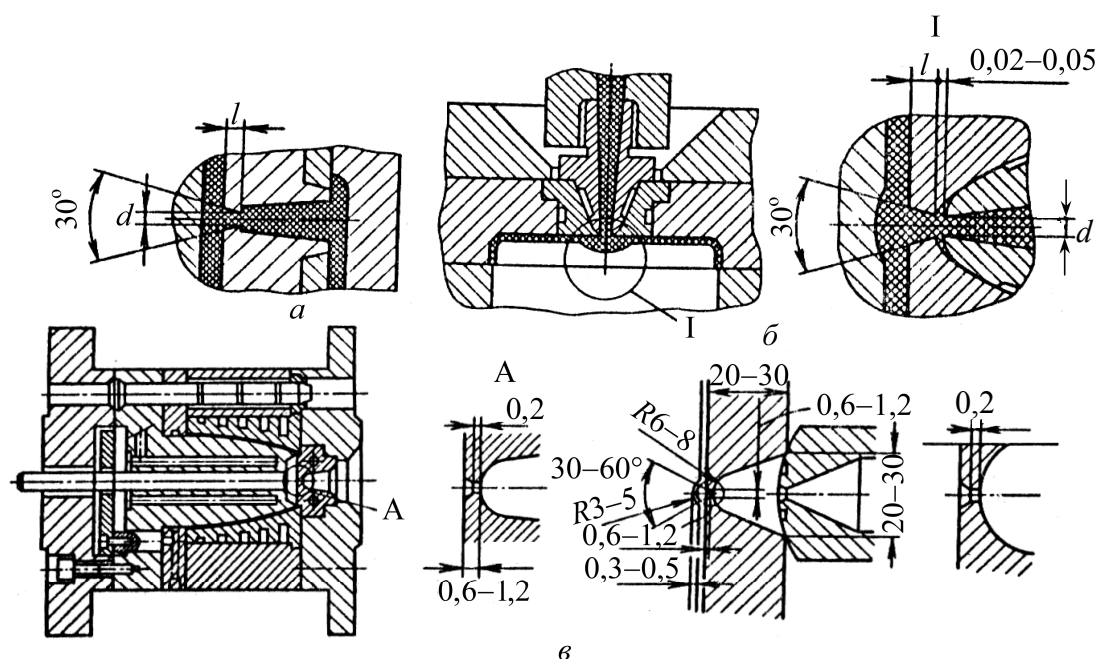


Рис. 4.30. Конструкция точечных впускных каналов

При переходе к точечным литникам усилие, необходимое для проталкивания материала по литниковым каналам, или значительно уменьшается (при отрывном варианте), или вовсе не тратится (при безлитниковом). В итоге этого общее усилие, необходимое для оформления изделий в форме с точечным впускным каналом, значительно меньше усилия с обычным литником.

В табл. 4.5 приведены размеры точечных впускных каналов при предкамерном методе впрыскивания.

Таблица 4.5

**Размеры точечных впускных каналов при предкамерном методе
впрыскивания**

Материал	Диаметр, мм	Длина, мм
Ацетилцеллюлоза	1,5	0,5–1
Полиэтилен высокой плотности	0,7–1,5	0,5–1
Полипропилен	0,8–2,2	0,5–1
Поликарбонат и стеклонаполненный полиамид	0,7–2,5	0,5–1

При значительном уменьшении величины поперечного сечения точечного впускного канала по сравнению с поперечным сечением, например, пальцевого впускного литника даже при несколько повышенном удельном давлении в полости перед точечным впускным каналом

требуется значительно меньшее суммарное усилие для продавливания расплава в оформляющую полость, что также позволяет повысить скорость следующего перемещения поршня или червяка машины.

Точечные литники позволяют установить минимальные значения выдержки под давлением, поскольку литник очень малого сечения быстро застывает.

Затвердевание точечного литника наступает сразу после окончания выдержки под давлением, это значит к моменту, когда изделие в оформляющей полости уже отвердело, и операция выдержки при охлаждении в зависимости от материала или совсем отпадает, или значительно сокращается. В особенности это очевидно во время получения тонкостенных изделий.

Время для размыкания и смыкания формы при точечной литьевой системе сокращается, потому что уменьшается путь перемещения подвижной части формы, который необходим для свободного извлечения изделий. Большие преимущества имеют точечные впуски для увеличения качества изделий. Основное из них заключается в том, что в зоне литника отсутствуют утолщения, охлаждение детали происходит равномерно, без появления внутренних напряжений и трещин, усадочных раковин и коробления. Отрыв и извлечение точечных литников выполняют специальной плитой или сжатым воздухом, обработка поверхностей изделий при этом не требуется.

Использование точечных впускных каналов позволяет более полно использовать мощность и производительность оснащения (потому что уменьшаются потери давления при течении расплава по разветвленной литьевой системе).

Туннельные литниковые каналы отличаются тем, что расплав подается в оформляющую полость не по поверхности разъема формы, а через тоннель, сделанный в стенке матрицы. Рекомендуемые размеры туннеля представлены на рис. 4.31 (для хрупких материалов $\alpha = 20^\circ$, для эластичных – $\alpha = 50^\circ$).

При проектировании многогнездных форм с туннельными каналами особое внимание надо обращать на размеры и форму разводящих литниковых каналов, ведь во время вытягивания туннельного литника разводящий литник выгибается. При литье хрупких материалов туннельный литник необходимо изготавливать с переменным сечением с уменьшением толщины в месте наибольшего изгиба. Диаметр разводящих каналов для туннельных впусков должен быть примерно на 1,5 мм больше максимальной толщины отливки.

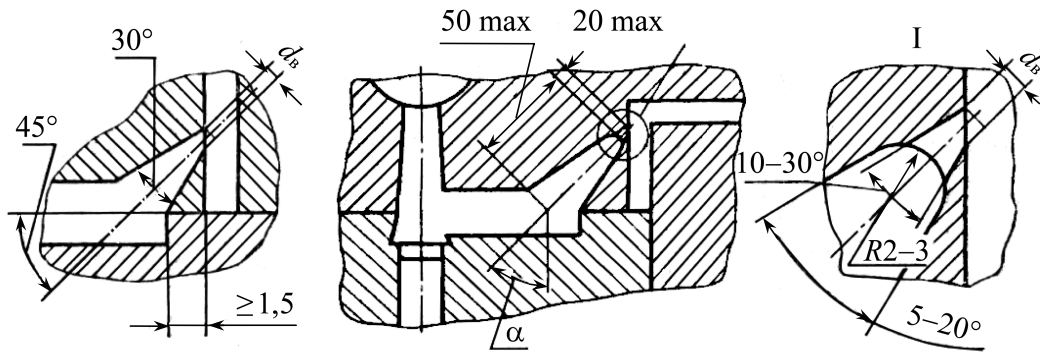


Рис. 4.31. Размеры туннельного литника

Представляет интерес конструкция криволинейного туннельного литника, что позволяет отливать тонкостенные детали, к внешнему виду которых предъявляются повышенные требования. Криволинейная форма литника обеспечивает подвод туннельного литника из внутренней стороны отливки. Для отрыва от литниковой системы криволинейный туннельный литник должен иметь достаточную ко-нусность и свободу изгиба.

На рис. 4.32 предложена конструкция и размерные соотношения криволинейного туннельного литника и показано, как осуществляется извлечение литника при разьеме формы.

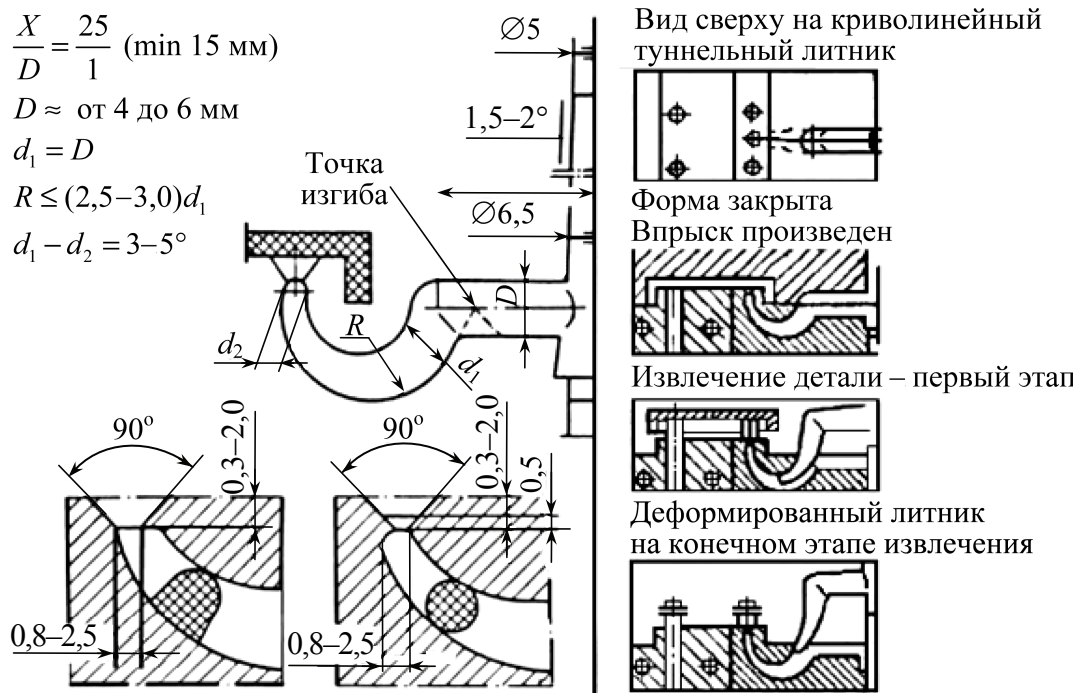


Рис. 4.32. Конструкция криволинейного туннельного литника

Во время заполнения формы расплав должен выжать из нее воздух. Для удаления воздуха из формы обычно не требуется особых мер, ведь он может выйти через плоскость разъема формы, через выталкиватели или составную матрицу (пуансон).

Горячеканальные системы (ГКС). Литниковые системы в обычных холодноканальных формах находятся в едином блоке с остальными узлами и деталями, поэтому их температура находится на том же уровне. Расположение системы в специальном коллекторе, поддерживающем температуру в расплаве, дает ряд преимуществ. Задача коллекторов – распределение расплава по литниковым каналам без потери качества материала.

Для термопластичных материалов эти коллекторы называют горячеканальными системами, горячими коллекторами или просто горячими каналами.

Горячеканальной (рис. 4.33) называется форма, в которой разводящий литник остается расплавленным и не извлекается во время цикла литья. Наиболее ценным достоинством ГКС по сравнению с ХКС является отсутствие разводящих литников, требующих соответствующего обслуживания, хранения или последующей утилизации.

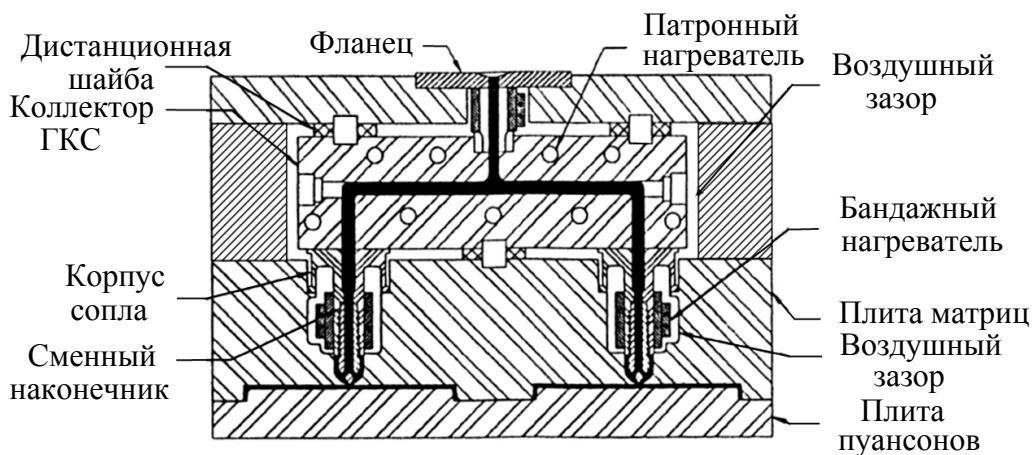


Рис. 4.33. Элементы горячеканальной формы (коллектор и сопло с внешним нагревом)

Горячеканальные формы особенно перспективны по сравнению с холодноканальными по следующим причинам:

- можно автоматизировать процесс выталкивания, так как не требуется извлекать литники;

- оптимальное размещение литников: благодаря единообразному точно регулируемому охлаждению литниковой системы возможны протяженные потоки;
- минимальные потери давления, поскольку диаметр каналов не ограничен;
- искусственная балансировка литниковой системы; ее можно осуществлять в ходе работы с помощью регулировки температуры или специального механического устройства (например, регулирование зазора в кольцеобразном канале). (Естественная балансировка лучше);
- избирательность заполнения формы; запорное сопло с иглой и ее избирательное действие открывает дорогу для новых технологий;
- ход открытия формы короче по сравнению с обычными литейными формами с тремя плитами;
- период приложения давления подпитки (уплотнения) более продолжительный, благодаря чему снижается усадка;

Недостатки ГКС:

- система намного сложнее и относительно дороже;
- первый запуск требует продолжительной комплексной подготовки;
- система подвержена отказам, затраты на ее обслуживание и текущий ремонт достаточно высоки (протечки, отказы нагревающих элементов, износ, вызванный наполнителями);
- риск термического разложения чувствительных материалов при протяженном пути потока расплава и долгом времени выдержки в коллекторе на длинных циклах;
- требуется тщательная регулировка температуры, так как неоднородность температуры расплава приводит к неодинаковому заполнению.

Перечисленные положительные эффекты существенно компенсируют несколько большие, чем для холодноканальных форм, затраты энергии. Распространение горячеканальных форм сдерживают конструкторские и технологические трудности. Первые – потому что сложно обеспечить равномерное температурное поле в горячем канале, или коллекторе, а также надежную теплоизоляцию между горячеканальным блоком, в котором размещается литниковая система, и охлаждаемыми формующими полостями. Вторые – из-за повышенной сложности и трудоемкости изготовления, требующей обеспечения высокой надежности в работе формы и одновременно – простоты в ее установке, обслуживании, управлении.

В развитых промышленных странах в горячеканальных формах литьем под давлением перерабатывают около 35% всех литьевых термопластов.

Основное, что отличает эти формы от других – специальный горячеканальный блок (плита, коллектор, узел) с литниковой системой.

Горячеканальные литниковые системы, размещаемые в блоках, разделяют: по конструктивному признаку на три группы – с нагреваемыми каналами; изолирующими каналами и бесканальные; по характеру нагрева на две группы – косвенным и непосредственным (реализуемым в разнообразных вариантах) нагревом.

Как правило, коллектор ГКС обогревается. Расплав полимера перемещается из инъекционного узла литьевой машины к выходному отверстию сопла ТПА, затем через разводящие литниковые каналы в коллекторе к соплам ГКС и через них заполняет оформляющую полость в литьевой форме. Размеры поперечных сечений литниковых каналов в коллекторе могут отличаться друг от друга лишь на несколько миллиметров, а их максимальная величина должна быть не выше 26 мм. Для производства небольших деталей, а также при переработке, например, жидкокристаллических полимеров рекомендуется выбирать небольшие диаметры литниковых каналов. С другой стороны, крупногабаритные отливки и изолирующие литники требуют больших диаметров каналов. Геометрические размеры каналов, по которым течет расплав, значительно влияют на время пребывания расплава в ГКС. Поперечное сечение канала определяется типом нагревателя. Если выбрана система с внешним нагревом, то поперечное сечение имеет форму круга, а при системе с внутренним подогревом поперечное сечение имеет кольцевую форму (рис. 4.34). Максимально допустимое время пребывания расплава в коллекторе зависит от типа перерабатываемого пластика.

Любая конструкция ГКС должна соответствовать следующим требованиям:

- независимо от длины пути расплава его температура должна быть постоянной. Температурная гомогенность является основным требованием;
- необходимо предотвращать термическое разложение расплава;
- следует избегать возникновения застойных зон;
- потери давления неизбежны, но их необходимо свести к минимуму. В многогнездных литьевых формах потери давления во

всех оформляющих полостях должны быть одинаковы. Наиболее эффективный путь решения этой задачи – балансировка литников;

- при переработке несовместимых многофазных смесей или армированных пластиков многочисленные разветвления в коллекторе ГКС способны вызвать разделение расплава на фазы.

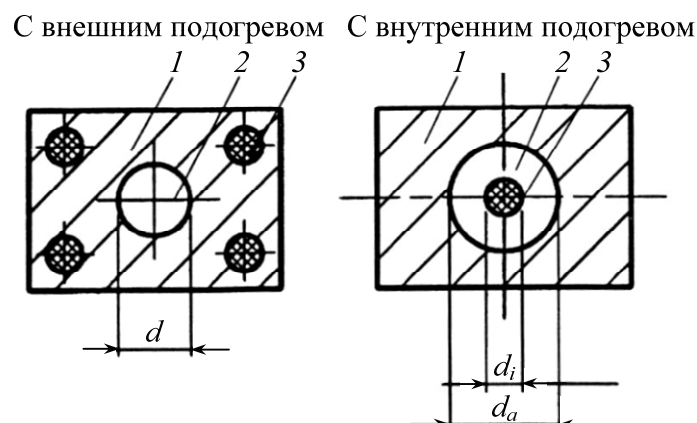


Рис. 4.34. Базовая конструкция коллектора с внешним и внутренним обогревом:

1 – коллектор; 2 – канал течения расплава; 3 – нагреватель

В соответствии со стандартом DIN/ISO 12165, 2002 г. номенклатура компонентов ГКС следующая (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Компоненты ГКС (см. рис. 4.35, 4.36, часть позиций на рисунках не показана)

Позиция	Описание
1	Плита крепления
2	Обойма матриц, неподвижная и подвижная полуформы
3	Брусья опорные
4	Тарельчатая пружина
5	Литниковая втулка коллектора
6	Сопло
7	Пневмо-, гидропривод запорной иглы сопла
8	Нагреватель
9	Обогреваемая (необогреваемая) литниковая втулка коллектора
10	Канал для расплава (в коллекторе)
11	Фильтр расплава, сменный
12	Коллектор
13	Направляющий штифт
14	Стягивающий винт
15	Воздушный изоляционный зазор
16	Впускной литник

Окончание табл. 4.6

Позиция	Описание
17	Уплотнительное кольцо
18	Распорная шайба
19	Торпеда сопла
20	Переходная втулка сопла
21	Теплопроводящее сопло
22	Теплопроводящее торпедо
23	Канал охлаждения
24	Поршень
25	Цилиндр
26	Запорная игла
27	Термопара
28	Термоизоляционная плита
29	Пластина отражателя
30	Поворотная заглушка коллектора

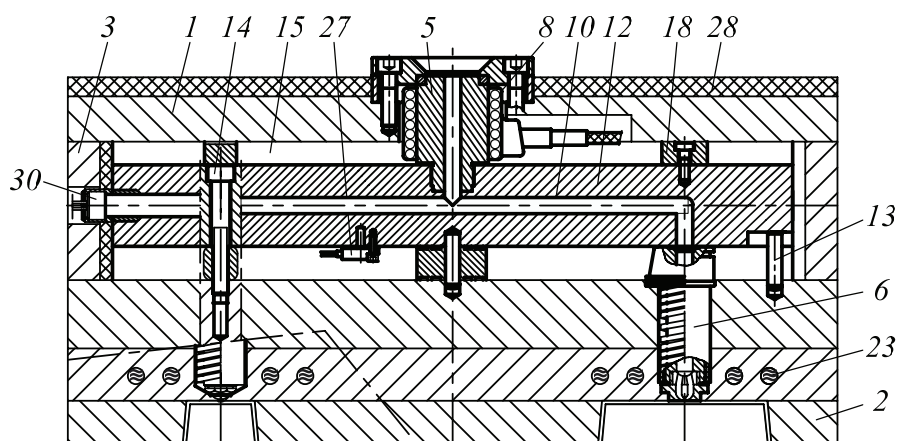


Рис. 4.35. Конструкция ГКС с прямоточными соплами

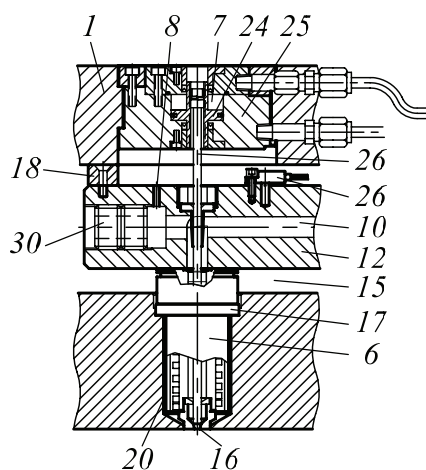


Рис. 4.36. Конструкция ГКС с запорными иглами

ГКС, представленные на рынке комплектующих для литьевых форм, различаются по принципам, заложенным в их конструкции. Отличительными чертами ГКС являются используемые типы нагревателей, способ центрирования сопла, а также тип впускного литника (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Конструкции компонентов применяемых для ГКС

Компоненты	Тип конструкции
Коллектор ГКС	С внешним подогревом
	С внутренним подогревом
	С изолированным литником
Нагрев сопел	Внешний подогрев, не прямой (косвенный)
	Внешний подогрев, прямой
	Внутренний подогрев, не прямой
	Внутренний подогрев, прямой
	Комбинированный внутренний и внешний подогрев
	Изолированный литник
Центрирование сопла	Непрямое, через коллектор ГКС
	Непосредственно закрепление болтами к коллектору ГКС
Тип впускного литника	Открытое сопло
	Теплопроводящее торпедо
	С запорной иглой
	Тепловой затвор

Корпус горячеканального блока или коллекторную (распределительную) плиту выполняют в зависимости от характера нагрева блока, конструкции изделия, общего числа гнезд и расположения впусков в оформляющую полость формы. На рис 4.37 приведены схемы различных вариантов корпусов (плит) блоков.

Особое внимание следует обратить на обеспечение при работе формы необходимого натяга H_m , зависящего от размеров плиты (коллектора) и установочных втулок, относительного изменения суммарной длины. Кроме того, следует определять напряжение смятия поверхности плиты матрицы в зоне задней установочной втулки.

Сопла горячеканальных литниковых систем выполняют в разных вариантах в зависимости от характера нагрева блока, общего числа гнезд в расположении впусков, габаритов изделия, программы выпуска изделий и прогнозируемой надежности конструкции.

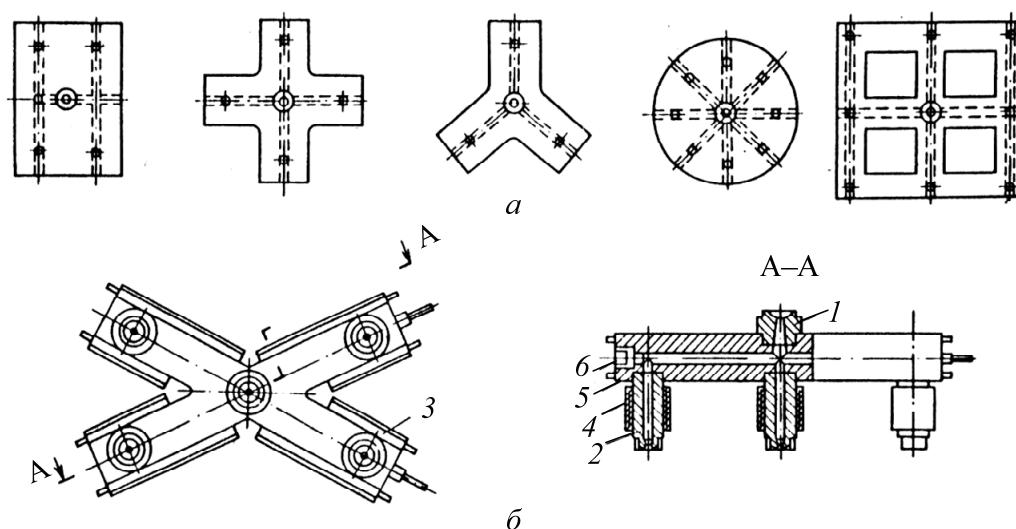


Рис. 4.37. Схемы вариантов корпусов (плит) горячеканальных блоков (а) и корпусов в сборе (б):
1 – литниковая втулка; 2 – сопло; 3 – нагреватель коллектора;
4 – нагреватель сопла; 5 – корпус; 6 – заглушка

Рассмотрим несколько типовых распространенных конструкций сопел.

Непосредственно обогреваемое сопло (рис. 4.38). Торпеда 4, изготовленная из высокотеплопроводного сплава на основе меди, кобальта

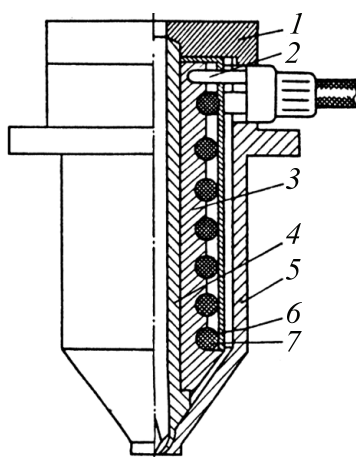


Рис. 4.38. Непосредственно обогреваемое сопло с наружным спиральным обогревом:
1 – крышка; 2 – термопара;
3 – втулка; 4 – торпеда; 5 – корпус сопла; 6 – предохранительный кожух; 7 – спираль обогревателя

и бериллия CuCoBe , опирается на корпус сопла 5, а сверху она закреплена в крышке 1. На торпеду 4 надета втулка 3, на которую предварительно намотана спираль обогревателя 7, закрытая предохранительным кожухом 6. Термопара 2 контролирует температуру материала в сопле. Воздушный зазор между деталями 5 и 6 значительно уменьшает потери тепла. Такая конструкция универсальна, компактна, обеспечивает малое потребление энергии и качественную регулировку температуры, но имеет ограничения по длине сопла. Фирма «HASKO» выпускает большой нормализованный ряд горячеканальных блоков с описанной конструкцией сопел.

Непосредственно обогреваемое сопло с внутренним сердечником (рис. 4.39). В коллекторную плиту 1 с заглушкой вставлен и закреплен сердечник 2, внутри которого помещен нагреватель (ТЭН) 3. Внутренний сердечник имеет заостренный хвостовик (торпеду) 5. Хвостовик разогрет, и это способствует сохранению требуемой температуры расплава, а также – благодаря конструкции – предотвращению вытягивания «нитей» расплава после окончания впрыска. Литниковая втулка 6, устанавливаемая в плиту 4, может изготавливаться из хромоникелевых сталей с относительно малой теплопроводностью.

Достоинством этого сопла является высокий КПД, использование мощности ТЭНа для поддержания температуры расплава, но не всегда возможно точно ее подобрать из стандартных нагревателей. Сопло непригодно при переработке не термостабильных термопластов; контроль температуры расплава затруднен. Такая конструкция получила распространение с появлением ТЭНов малых размеров (диаметры 6–8 мм).

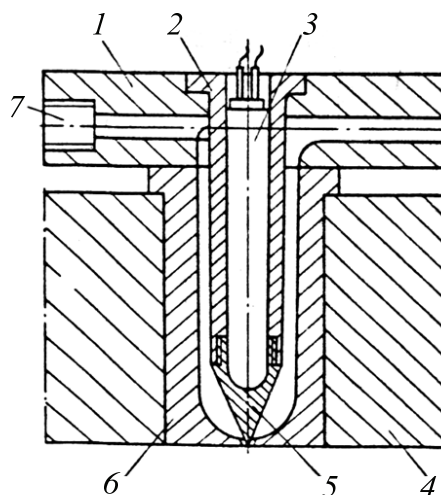


Рис. 4.39. Непосредственно обогреваемое сопло с внутренним сердечником-патроном:
1 – коллекторная плита;
2 – сердечник; 3 – нагреватель;
4 – плита; 5 – торпеда;
6 – литниковая втулка;
7 – заглушка

Реологический расчет литниковой системы. Расплав полимерного материала, заполняющего каналы любой без исключения литьевой системы и полость формы, должен преодолеть сопротивление течению в них, при этом утрачивается скорость движения расплава, энергия потока, происходит потеря давления.

Гидравлический расчет позволяет определить реальный перепад давления при течении расплава по литниковым каналам и полости формы, сравнить его с максимальным давлением впрыскивания, созданным машиной-автоматом, что важно для решения задачи о заполнении полости формы (в общем и за определенное время). Для рационализации конструкции литьевой системы необходимо знать, в каком ее месте образуются значительные потери давления (для уменьшения сопротивления в этих местах путем увеличения

поперечного сечения) и где потери невелики (есть возможность сократить объем каналов и литников, уменьшив поперечное сечение).

Для проведения реологического расчета литниковая система и полость формы представляются в формализованном виде, например, путем использования теории граф, в виде веточек дерева, корнем которого является инжекторный узел машины. Ветви – это последовательно размещенные простые геометрические элементы течения: цилиндрический сплошной или кольцевой канал, плоская щель, канал и т. д. Набор простых элементов течения конкретный для каждой литьевой системы и полости формы.

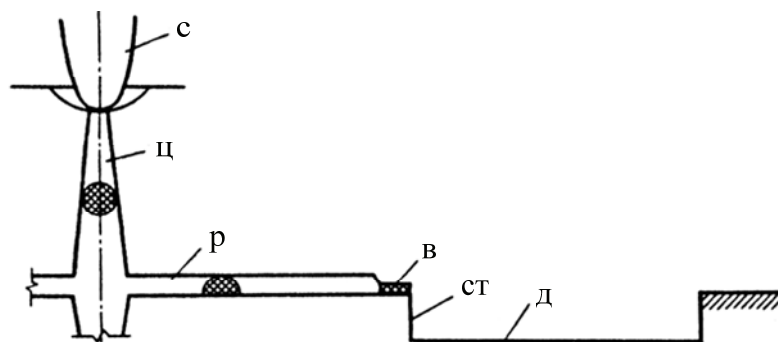
На рис. 4.40 представлены необходимые объяснения, из которых следует, что для обеспечения работоспособности литьевой формы необходимо соблюсти следующее неравенство:

$$P > \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{д}};$$

в общем виде

$$P > \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (4.10)$$

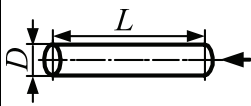
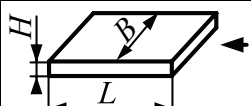
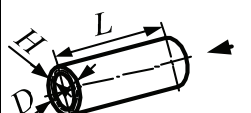
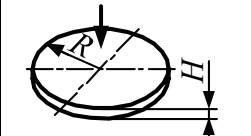
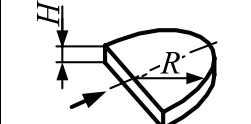
где n – число простых геометрических элементов. Из этих неравенств очевидно, что чем меньше составляющих при других равных (по отношению к полости формы) условиях, тем меньшие суммарные потери давления, например, в горячеканальных формах.



Корень	Ветви (для двухгнездной формы)				
Сопло, с	Центральный литник, ц	Разводящий литник, р	Впускной литник, в	Полость формы	
				Стенка, ст	Дно, д
$U_x(Q_p, P)$	$Q_p; \Delta P_{\text{ц}}$ Конический круглый	$Q_p / 2; \Delta P_{\text{р}}$ Цилиндриче- ский полу- круглый	$\Delta P_{\text{в}}$ Плоская щель	$\Delta P_{\text{ст}}$ Плоская щель (развертка кольцо)	$\Delta P_{\text{д}}$ Плоская щель

Рис. 4.40. Схема формализации данных для реологического расчета

Таблица 4.8

Форма канала	Чертеж	Потери давления ΔP , кгс/см ²	Граничная длина течения L , см
Цилиндр		$L \left[\frac{W_0 \eta (n+3) 2^{2n+3}}{\pi D^{n+3}} \right]^{\frac{1}{n}}$	$\frac{4W_0 \Phi}{\pi (n+3)(n+4)}$
Прямоуголь- ная пластина		$L \left[\frac{W_0 \eta (n+2) 2^{n+1}}{B H^{n+2}} \right]^{\frac{1}{n}}$	$\frac{2W_0 H \Phi}{B (n+3)(n+4)}$
Полый ци- линдр		$L \left[\frac{W_0 \eta (n+2) 2^{n+1}}{\pi D H^{n+2}} \right]^{\frac{1}{n}}$	$\frac{2W_0 H \Phi}{\pi D (n+3)(n+4)}$
Диск		$\frac{n}{n-1} R^{\frac{n-1}{n}} \left[\frac{W_0 \eta (n+2) 2^{n+1}}{\pi H^{n+2}} \right]^{\frac{1}{n}}$	$\sqrt{\frac{2W_0 H \Phi}{\pi (n+3)(n+4)}}$
Полудиск		$\frac{n}{n-1} R^{\frac{n-1}{n}} \left[\frac{W_0 \eta (n+2) 2^{n+1}}{\pi H^{n+2}} \right]^{\frac{1}{n}}$	$\sqrt{\frac{4W_0 H \Phi}{\pi (n+3)(n+4)}}$

Реологический расчет проводится с использованием:

– степенного закона течения расплава

$$\gamma = m\tau^n, \quad (4.11)$$

где m и n – реологические константы полимерного материала;

– описания геометрических характеристик простых элементов течения – коэффициентов геометрической формы.

Объемную скорость течения W_0 определяют из уравнения

$$W = \frac{V}{Nt}, \quad (4.12)$$

где V – максимальный объем отливки машины, см³; t – время впрыскивания машины, с; N – количество гнезд в форме.

Показатель степени реологического уравнения n для разнообразных полимеров следующий:

Полистирол блочный	2,7
Полистирол ударопрочный	2,7
Полиэтилен высокой плотности	2,5

Полиэтилен низкой плотности.....	2,5
ПВХ непластифицированный (жесткий)	3,7
Полиформальдегид.....	2,5
Сополимер формальдегида	1,6
Поликарбонат.....	1,2

Коэффициент Φ можно определить по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{1}{8\alpha} \left[\frac{(T - T_{\text{ц}})}{(T_{\text{ц}} - T_{\text{ф}})} + \frac{q}{c(T_{\text{ц}} - T_{\text{ф}})} + 0,5 \right], \quad (4.13)$$

где α – коэффициент температуропроводности полимера, $\text{см}^2/\text{с}$; T – температура расплава или литьевого цилиндра, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{ц}}$ – температура текучести полимера, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{ф}}$ – температура формы, $^{\circ}\text{C}$; q – теплота плавления полимера, кал/г ; c – удельная теплоемкость полимера, $\text{кал/г}^{\circ}\text{C}$.

Реологический параметр полимера η при температуре литьевого цилиндра определяется из рис. 4.41.

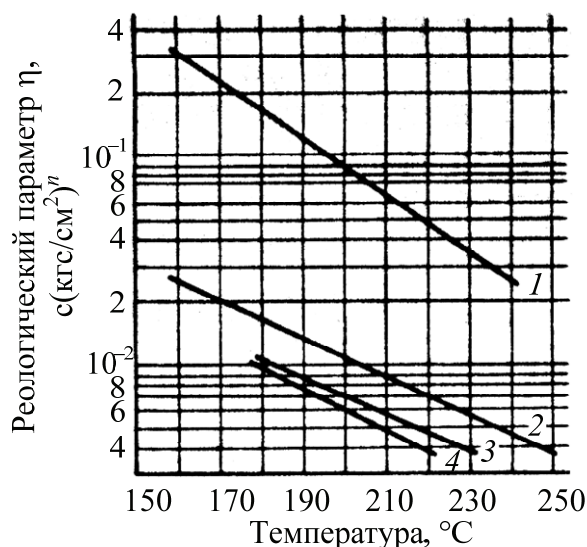


Рис. 4.41. К определению реологического параметра полимера:

1 – полистирол; 2 – ПЭВП; 3 – поликарбонат;
4 – полиформальдегид

Перепады давления, рассчитанные для каждого из элементов литникового канала и полости формы, подытоживаются, после чего делается заключение о трудоспособности формы.

4.1.7. Система центрирования и перемещения

Качество литевых изделий в большей степени зависит от надежности конструкции системы центрирования. Она влияет не только на разнотолщинность изделия, но и на характер заполнения полости, образование линии спаев, коробление. Работа системы центрирования литевой формы отличается от работы такой же системы прессовой формы. При прессовании взаимодействие центрирующих элементов происходит до смыкания, когда последние находятся под воздействием неконтролируемых боковых усилий формующего материала. В литевой форме впрыск расплава происходит после смыкания полуформ, и, казалось бы, система центрирования работает в благоприятных условиях. Но подробный анализ работы системы центрирования приводит к противоположным выводам.

Безостановочное, горизонтальное возвратно-поступательное перемещение плиты узла смыкания вместе с подвижной полуформой под действием силы тяжести вызывает износ втулок, которые удерживают ее на колоннах. Износ вызывает вертикальное смещение оси посадочного отверстия подвижной плиты и ее провисание, которое отклоняет смыкаемую поверхность подвижной полуформы от вертикали на небольшой угол. Силы трения, которые образуются при этом на смыкаемых поверхностях, настолько большие, что усилия P_c не в состоянии их преодолеть, чтобы устранить это провисание, что вызывает необходимость уменьшить один из центрирующих выступов на фланцах форм. Обычно уменьшается выступ на неподвижных фланцах.

Система центрирования осуществляет следующие функции: центрирование полуформ и взаимное центрирование деталей внутри каждой полуформы, начальное и конечное центрирование, а также центрирование для точного выполнения технологических операций при изготовлении и сборке формы, что должно предусматриваться в чертежах.

Из-за несимметричности конструкции изделия, неравномерности заполнения гнезда и др. происходит сдвиг пуансона относительно матрицы.

На рис. 4.42 показаны схемы, которые позволяют определить необходимые поверхности давления от поперечных сил на пуансоны – для круглых и прямоугольных отливок.

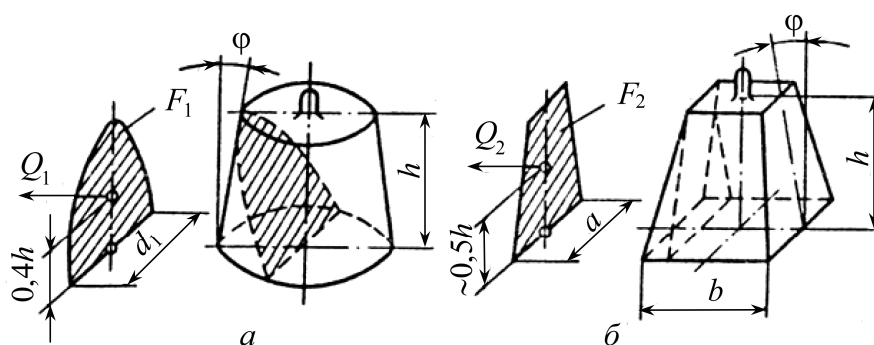


Рис. 4.42. Схемы определения поверхностей давления от поперечных сил на пуансоны для круглых (а) и прямоугольных (б) отливок

В форме для круглой отливки (рис. 4.42, а) поверхностью давления считается поверхность F_1 проекции участка параболы на плоскость, которая параллельна оси пуансона. Тогда поперечная сила

$$Q_1 = F_1 p_\phi = \frac{2}{3} d_1 h p_\phi, \quad (4.14)$$

где d_1 – диаметр пуансона, см; h – высота пуансона, см; p_ϕ – давление расплава в форме, кгс/см².

Для прямоугольной отливки (рис. 4.42, б) поперечная сила

$$Q_2 = F_2 p_\phi = a h p_\phi, \quad (4.15)$$

где a и h – размеры пуансона, см (считается, что технологический уклон ϕ настолько мал, что его можно не учитывать).

Положение частей формы обеспечивается направляющими колонками и планками, коническими или наклонными поверхностями, поперечными валиками, коническими цапфами и т. д.

Выбор того или иного способа центрирования зависит от величины поперечных сил, допустимой несоосности пуансона и матрицы, формы изделия и технологических возможностей изготовления формы.

Направляющие колонки не только центрируют пуансон и матрицу, но и служат направляющими, по ним перемещаются плиты формы при смыкании и размыкании. Они должны обладать достаточной твердостью и устойчивостью, чтобы взаимный сдвиг частей формы не вызывал в них упругой деформации, которая превышает допустимое значение. Поэтому необходимо правильно выбрать диаметр колонки, обеспечить посадку колонок в плите соответствующей

толщины (толщина плиты берется бóльшая или равная $1,5d$, где d – посадочный диаметр колонки), соосность колонок и направляющих втулок, а также взаимную параллельность колонок и их перпендикулярность основанию.

В малых формах используют две направляющие колонки, а в больших – три или четыре. В формах размером до 100×100 мм колонки могут проходить непосредственно через отверстия в плите, в остальных случаях используют направляющие втулки. Колонки рекомендуется размещать в той части формы, где они не мешают удалению отливок, чаще всего – в неподвижной части.

Для форм толщиной до 600 мм диаметр колонок рекомендуется находить по формуле

$$d = 4 + 0,06D \text{ или } d = 4 + 0,06\sqrt{a + b}, \quad (4.16)$$

где d – диаметр направляющей колонки, мм; D – диаметр плиты, мм; a и b – длина и ширина плиты, мм.

Длина колонок должна превышать высоту пуансона, чтобы при смыкании формы не повредить пуансон и матрицу. Длина направляющей части колонки должна быть больше пуансона на $1-1,5d$ колонки. В случае симметричного размещения колонок возникает опасность неправильной сборки, для избегания которой одну из колонок делают другого диаметра или изменяют межосевое расстояние между двумя колонками.

Конструкции направляющих колонок стандартизированы по ГОСТ 22072, втулок – по ГОСТ 22073. На практике используют различные конструкции направляющих колонок и втулок (рис. 4.43: a – гладкие, $b-d$ – равные посадочные места в колонках и втулках).

Для направления и фиксации крупных частей литевых форм применяют направляющие планки, которые прикручивают к бокам формы (рис. 4.44). Обычно используют четыре планки, расположенные по четырем бокам или углам формы. Их преимущества: точность направления, высокая несущая способность, возможность замены изношенных планок без разборки формы, малая зависимость от теплового расширения плит.

Применение конических поверхностей для центрирования формообразующих деталей формы обеспечивает высокую точность фиксации и разрешает использовать их в формах с повышенной поперечной нагрузкой.

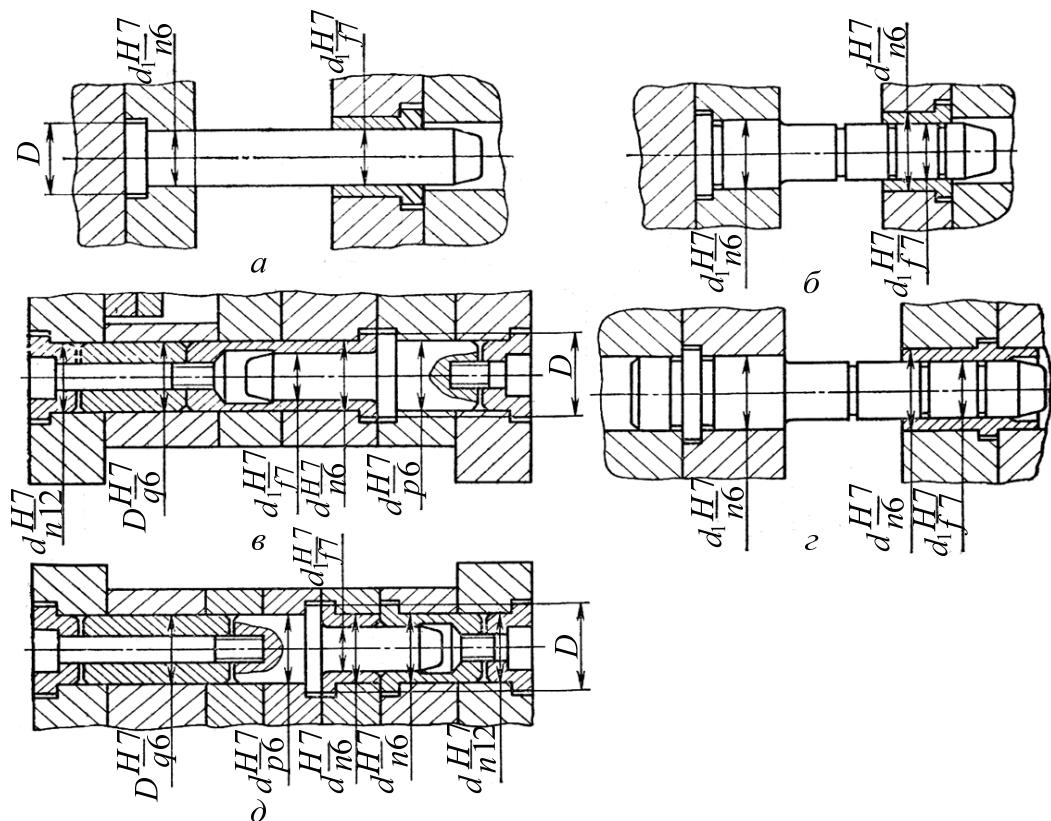


Рис. 4.43. Различные конструкции направляющих колонок и втулок

Распределение сил в форме с фиксацией конической поверхности представлено на рис. 4.45.

Во время впрыскивания расплава на коническую поверхность действует сила P , которую находят по формуле

$$P' = P - P'' = P - \left(\frac{\pi d_1^2}{4} \right) p_{\phi}, \quad (4.17)$$

где P – усилие смыкания машины, кгс; P'' – сила размыкания формы под воздействием материала p_{ϕ} , кгс; d_1 – диаметр пуансона, мм.

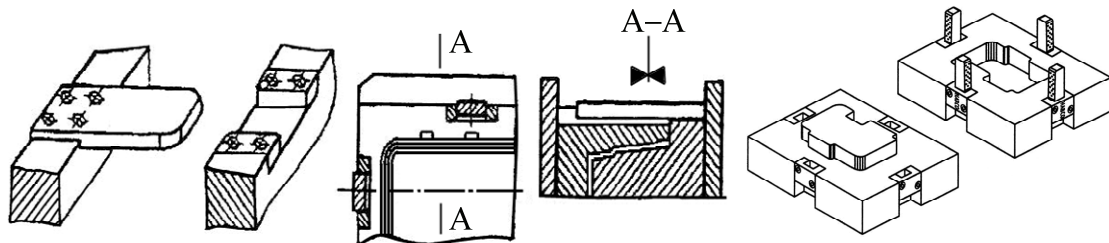


Рис. 4.44. Конструкция направляющих планок

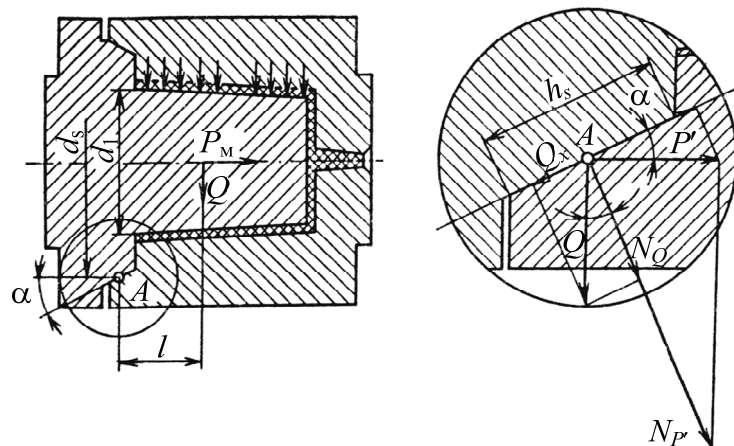


Рис. 4.45. Распределение сил в форме с фиксацией конической поверхности

В случае появления поперечной силы Q на средний пункт A конуса действуют силы Q и P' , чтобы избежать размыкания формы, должно выполняться неравенство

$$P' > Q \frac{2l}{d_s}, \quad (4.18)$$

где d_s – средний диаметр конуса, мм; l – расстояние от оси формы до оси приложения силы Q , мм.

С этого неравенства следует, что форма тогда меньше размыкается, когда больше средний диаметр конуса и когда меньше значение l .

Далее определяют высоту фиксирующего конуса h_s . Расчет ведут при условии, что все давление воспринимается поверхностью конуса F . При этом возможны два случая: коническая поверхность передает всю силу смыкания P или она передает часть усилия на смыкание P' и поперечную силу Q .

Для первого случая h_s определяется по формуле

$$h_s \geq \frac{P}{\pi d_s \sin \alpha [\sigma]_{\text{см}}}, \quad (4.19)$$

а в другом случае

$$h \geq \frac{P + Q \sin \alpha}{\pi d_s \sin \alpha [\sigma]_{\text{см}}}, \quad (4.20)$$

где $[\sigma]_{\text{см}}$ – допустимое напряжение на смятие, кгс/мм²; для термообработанной стали $[\sigma]_{\text{см}} = 120\text{--}150$ МПа; для стали без термообработки $[\sigma]_{\text{см}} = 70$ МПа.

С полученных значений выбирают большее значение h_s .

Угол наклона образующий конуса должен быть как можно меньше благоприятного разложения сил. Если считать, что при сухом трении $f=0,15$, то для предупреждения заедания формы угол наклона конической поверхности принимают минимальным: $\alpha = 12-15^\circ$.

Для получения отливок с боковыми отверстиями и поднутрениями на внешней или внутренней поверхности отливок, которые имеют сложную внешнюю форму, применяют расширенные полуматрицы, боковые знаки, составные пуансоны (сегменты) и другие формообразующие детали. Для перемещения этих деталей применяют разные механизмы.

Формуемый элемент двигается по направляющим. Для предупреждения самопроизвольного выхода двигающегося элемента с направляющих или его смещения в раскрытой форме применяют упоры и фиксаторы. Опорный клин, который сделан в виде налагаемой детали или как одно целое с соответствующей плитой, закрывает подвижный элемент, тем самым освобождает его от давления расплавов в форме, которое передается на боковую формообразующую деталь.

Перемещение деталей, которые оформляют поднутрения, осуществляется с помощью механического, гидравлического или пневматического привода. Чаще всего для перемещения подвижного элемента используют наклонную колонку. При этом подвод и отвод подвижного элемента осуществляется синхронно с движением раскрытия формы. При необходимости некоторого запаздывания перемещения подвижного элемента отверстия в нем под колонку выполняют с большим диаметром или делают овальным.

На рис. 4.46 показаны размерные зависимости (рис. 4.46, а) и расположение сил (рис. 4.46, б, в) при перемещении подвижного элемента с помощью наклонной колонки рассчитывают величину хода относительно плоскости $X-X$, а не $Y-Y$. Необходимый ход S подвижного элемента должен быть больше, чем поднутрения отливки на величину зазора, который обеспечивает свободное удаление отливки с рабочей зоны формы ($S > W$).

Рабочая длина L наклонной колонки определяется в зависимости от необходимого хода подвижного элемента:

$$L = \frac{S}{\sin \alpha}, \quad (4.21)$$

где S – ход подвижного элемента; α – угол наклона колонки.

На колонку действует сила сопротивления перемещению подвижного элемента и сила размыкания P_0 . Суммарная сила, которая действует на колонку, зависит от угла наклона α :

$$R = P_0 \cos \alpha. \quad (4.22)$$

Вместе с уменьшением угла α уменьшается сила P_0 , необходимая для размыкания формы, и, соответственно, изгибающая сила $P_0 \cos \alpha$.

На рис. 4.46, б, в, видно, что при уменьшении угла наклона α опорной поверхности сила смятия P формы создает усилие Q , зависящее от площади проекции боковой поверхности отливки и давления расплава в форме. Для более сильного сжатия подвижного элемента угол наклона α должен быть от 15 до 25°. Однако чем меньше угол наклона, тем больше рабочая длина наклоненной колонки.

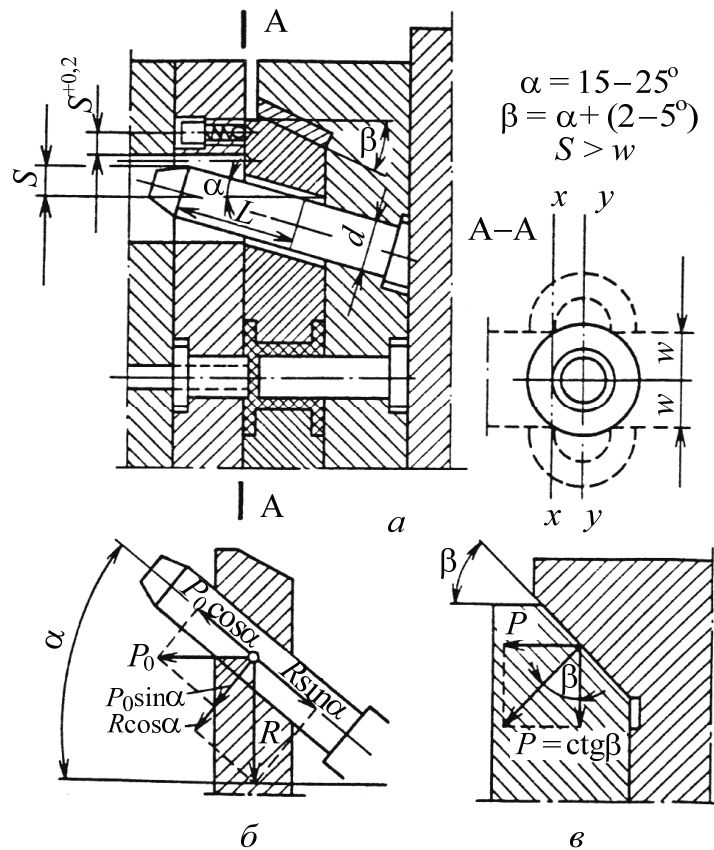


Рис. 4.46. Размерные зависимости (а) и расположение сил (б, в) при перемещении подвижного элемента с помощью наклонной колонки

С целью уменьшения трения наклон опорной поверхности клина выполняется несколько больше угла наклона колонки. Зазор между наклонной колонкой и отверстием подвижного элемента должен быть не менее 0,2 мм, а если необходимо запаздывание, тогда несколько больше.

Гидравлический привод применяют с целью снятия с отливки больших, тяжелых формовочных знаков, если необходимы большие усилия. Для этого применяют гидроцилиндры двойного действия. Применение гидропривода особенно выгодно, когда предусмотрена возможность его подключения к гидроприводу машины.

Пневматический привод применяют в основном для перемещения длинных, небольшого диаметра формующих знаков с небольшим усилием сцепления с материалом.

При использовании цилиндров давление расплава на формуемый элемент воспринимается, как правило, запорным клином, а сам цилиндр только перемещает знак.

Цилиндры нужно монтировать в форме так, чтобы на их стыки не действовали боковые нагрузки и стыки не выполняли функции направляющих тяжело нагруженных формующих элементов. Из-за сложности синхронизации работы двух параллельных цилиндров не рекомендуется на один ползун устанавливать больше одного цилиндра. Для обеспечения стабильности работы цилиндры должны быть теплоизолированы от горячих частей формы.

Управление цилиндрами происходит вручную или автоматически при помощи конечных выключателей и (или) реле времени.

Рычажные системы выталкивания и извлечения знаков применяют:

- при литье глубоких изделий (труба, ниппель, гильза и др.), когда для уменьшения высоты формы ось изделия целесообразно расположить перпендикулярно оси раскрытия формы;
- при литье изделия с глубокими боковыми поднутряющими впадинами, отверстиями;
- при сталкивании изделий по сложной траектории; для привода подвижных полуматриц.

В наиболее распространенной рычажной системе с равноплечими рычагами (рис. 4.47) для оформления внутренней полости изделия предназначен пуансон 1, расположенный в плоскости разъема формы и укрепленный в траверсе 3. Перемещаемая относительно пуансона системой рычагов 4, траверса 2 снимает изделие с него.

При раскрытии формы пуансон перемещается только в направлении разъема со скоростью в 2 раза меньше скорости подвижной полуформы, и поэтому всегда симметрично расположен относительно полуформ; в перпендикулярном направлении пуансон неподвижен. Для крепления рычагов к форме и траверсам можно использовать специальные скобы и кронштейны с компенсирующими прокладками, упрощающими пригонку и установку. При необходимости несколько таких систем можно устанавливать по разные стороны от формы.

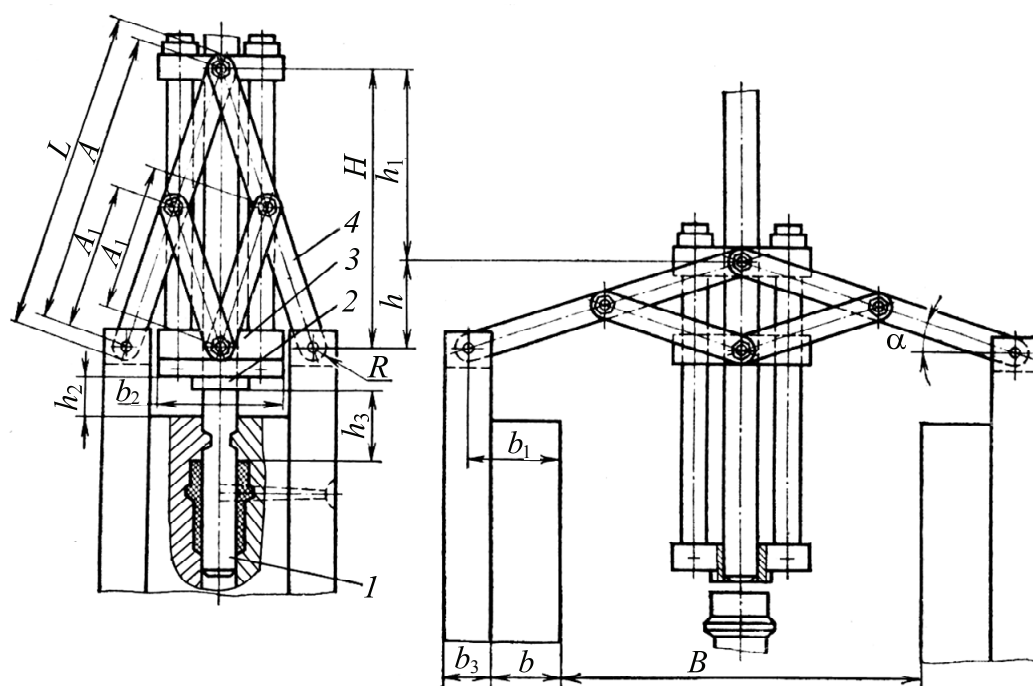


Рис. 4.47. Рычажная система с равноплечими рычагами

Для расчета исполнительных размеров рычагов следует задаться раскрытием B формы, высотой b полуматрицы, расстоянием b_1 от плоскости разъема до оси крепления рычага, ходом S выталкивания и углом α (оптимальное значение $\alpha = 10\text{--}15^\circ$).

$$A = (b_1 + 0,5B) / \cos \alpha; \quad h = (b_1 + 0,5b_2) \operatorname{tg} \alpha;$$

$$b_{2\max} = 2b - (4\text{--}6) \text{ мм}; \quad H = \sqrt{A^2 - b_1^2}; \quad h_1 = H - h;$$

$$h_2 = H - \sqrt{A^2 - (b_1 - 0,5b_2)^2} + (3\text{--}4) \text{ мм}; \quad h_3 = h_1 - S.$$

Для съема тонкостенных изделий из эластичных материалов или других изделий, склонных к выпучиванию боковых стенок под действием осевых сил выталкивания, можно использовать рычажную систему (рис. 4.48, *а*), для которой $e > 0,5L$. При такой конструкции одновременно с разъемом формы начинается извлечение пуансона 1 из изделия (в системе традиционной конструкции пуансон не извлекают из изделия), так как длина рычагов 2 больше половины длины рычагов 3. В это время полуматрицы 5 должны удерживать изделие. Окончательно изделия сбрасываются с пуансона упором-съемником 4.

Для изделий с глубокими встречными или сквозными отверстиями, оси которых перпендикулярны направлению разъема формы, целесообразно применять обратную рычажную систему (рис. 4.48, *б*), две вершины треугольников которой, как и в обычной системе, связаны с подвижной и неподвижной частями формы, а третьи вершины связаны с пуансонами знаками 1, 2.

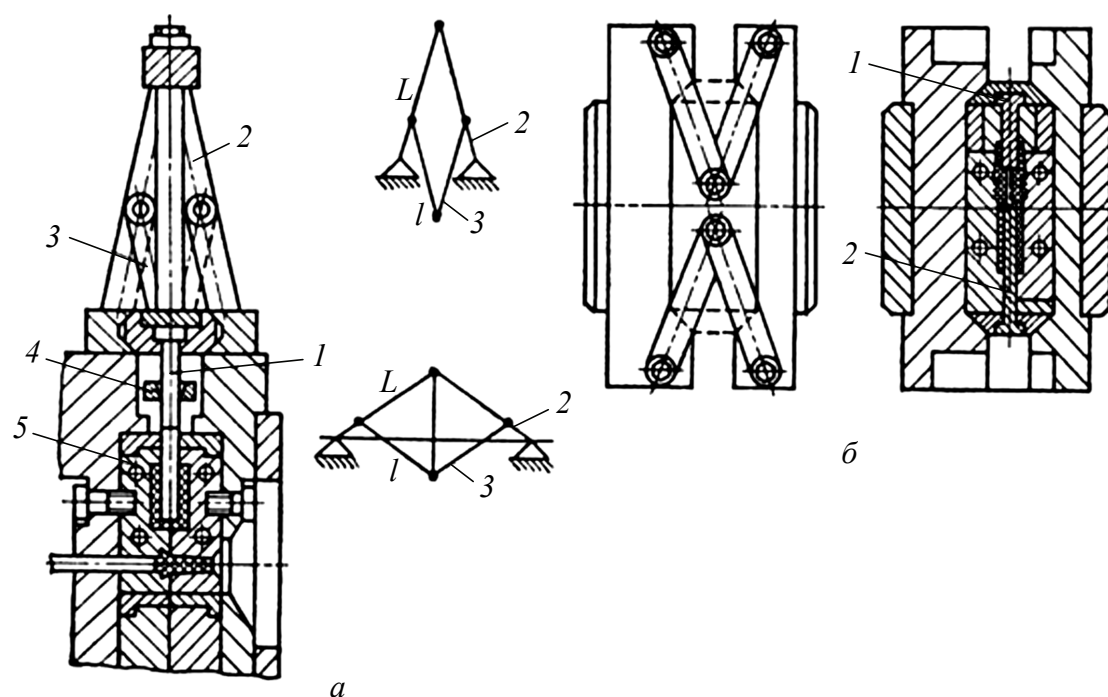


Рис. 4.48. Рычажные системы с ходом больше половины высоты изделия (*а*) и обратная (*б*)

Рычажная система (рис. 4.49) предназначена для раскрытия полуматриц после съема изделия с пуансона. При раскрытии формы по плоскости разъема I–I полуматрицы (сомкнутые) удерживают изделие в неподвижной части формы, снимая его с пуансона.

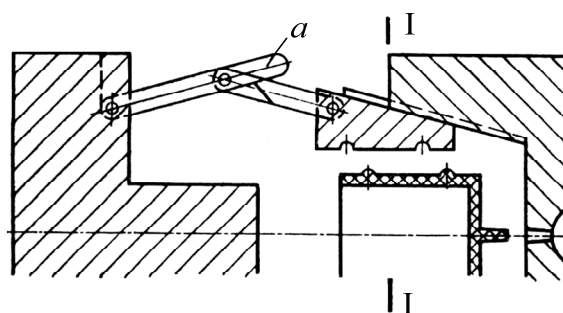


Рис. 4.49. Рычажная система для раскрытия полуматриц

После извлечения пуансона рычаги вытягивают полуматрицы из обоймы. При этом изделие перемещается совместно с полуматрицами под действием поднутряющих выступов (впадин), извлекая литник из литникового канала. После раскрытия полуматриц изделие выпадает. Конструкция рычагов должна гарантировать их складывание во внешнюю сторону (например, введением специального выступа *a*). Такую конструкцию можно применять для изготовления крупногабаритных высоких изделий.

4.1.8. Система размещения, установки и крепления форм

При проектировании форм сразу же приходится решать вопрос, на какой литейной машине будет установлена форма. Для расчета элементов формы необходимо знать технические характеристики машины и дополнительные размеры. Это обязательные условия, которые требуют знания основных технических характеристик термопластавтоматов: сила замыкания (смыкания) формы, кН; объем впрыска, см³; давление впрыска, МПа; пластикационная производительность, кг/ч; важными являются также паспортные характеристики – объемная скорость впрыска, см³/с; наименьшее время запираания и раскрытия формы, с; наибольшее расстояние между плитами, мм; ход подвижной плиты (при наибольшей высоте формы), мм; расстояние между колоннами на свету по горизонтали и по вертикали, мм; наибольшая и наименьшая высота формы, мм. Термопластавтоматы выпускают с характеристиками, соответствующими ГОСТ 10767–87.

Сведения об изделии, материале, технологии должны быть подробно представлены в нормативно-технической документации.

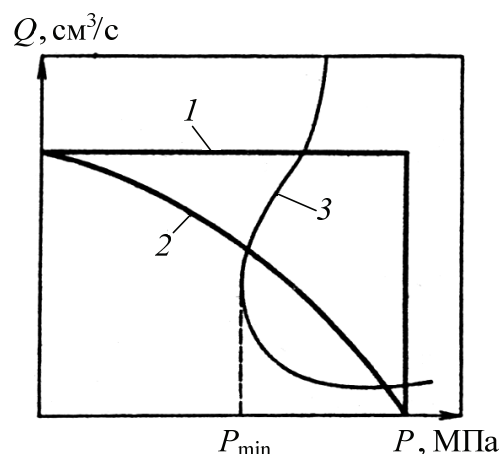


Рис. 4.50. Зависимости объемной скорости впрыска от давления впрыска:
1 — ИХ для литьевой машины при $Q = \text{const}$; 2 — ИХ для литьевой машины при $Q \neq \text{const}$; 3 — ХСФ

В чертеже изделия, который выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ, указывают: марку материала, размеры, допуски размеров и допустимые отклонения от правильной геометрической формы, качество поверхностей (если это продиктовано необходимостью, условиями эксплуатации изделия); технические условия, другие важные конкретные сведения. Перед началом проектирования формы по чертежу изделия желательно оценить степень его технологичности, определить «рабочее» положение изделия при формовании. Кроме чертежа изделия, должна быть задана программа его вы-

пуска; желательна информация о времени технологического цикла изделия, чтобы можно было оценить быстроходность термопластавтомата, цикл/ч.

Показателем достаточно точного соответствия формы и машины является полное заполнение внутренней полости формы расплавом на стадии впрыска. Это достигается при условии, что инжекционной характеристике (ИХ) машины, т. е. зависимости объемной скорости впрыска (расхода) Q от давления впрыска p , соответствует характеристика сопротивления течения расплава в литьевой форме (ХСФ). На рис. 4.50 приведены отмеченные характеристики.

Поскольку Q и p изменяются во время стадии заполнения полости формы, ИХ и ХСФ также непостоянные. Их определяют экспериментально или рассчитывают. При этом для оценки ХСФ используют формулу

$$p = A Q^{1/n} + B / (1 + C Q^{0,5}), \quad (4.23)$$

где A , B , C — коэффициенты, которые зависят от конструкции и размеров литниковой системы, формирующей полости, количества и места размещения впускных каналов, особенностей формирующего термопласта и температуры его переработки под давлением; n — показатель текучести расплава термопласта.

Для ХСФ при больших Q сопротивление течения расплава в форме становится значительным; при малых Q расплав в оформляющей полости уже на стадии ее заполнения начинает интенсивно охлаждаться, что также увеличивает сопротивление течения в незастьивших зонах и литниковых каналах. При некотором промежуточном значении Q требуется минимальное значение $p = p_{\min}$ для заполнения оформляющей полости без недолива.

По мере износа литейной машины ее ИХ изменяется. Если отсутствует возможность экспериментально определить ИХ, можно пользоваться линейной аппроксимацией:

$$Q(p) = Q_p \frac{p}{p_{\max}}, \quad (4.24)$$

где $Q(p)$ – объемная скорость впрыска; p_{\max} – максимальное давление впрыска, которое развивается узлом инъекции машины.

Достижение соответствия ИХ и ХСФ в каждом конкретном случае связано с конструированием и расчетом литниковой системы. Далее нужно обеспечить соотношение объемов, при которых объем впрыска машины $V_{\text{впр}}$ должен превышать объем отливки V_o , полученной в данной форме: $V_{\text{впр}} >> V_o k$; $k = 1,3$.

Объем отливки включает в себя также и объем массы литниковой системы. Коэффициент k превышения $V_{\text{впр}}$ над V_o учитывает тот факт, что расплав, который впрыскивается в форму, уменьшается в объеме вследствие охлаждения.

Схема взаимодействия формы для литья под давлением термопластов с литейной машиной показана на рис. 4.51.

Взаимосвязь по геометрическим параметрам необходима, поскольку в конструкциях машин предусмотрена возможность установки форм разной высоты h в направлении смыкания плит: расстояние между плитами в сомкнутом положении H регулируется в диапазоне от H_{\min} до H_{\max} . Очевидно, что форма может быть установлена на машину, если выполняется условие

$$H_{\min} < h < H_{\max}. \quad (4.25)$$

Минимально необходимый ход разъема полуформ s , достаточный для того, чтобы изделие было вытолкнуто из нее и свободно упало в образованный между полуформами разъем, не должен превышать максимального хода подвижной плиты машины S :

$$S > s = 2h_{\text{н}} + l + e, \quad (4.26)$$

где $h_{\text{и}}$ – высота изделия; l – длина литника в направлении смыкания формы; e – запас по ходу разъема (достаточный, чтобы изделие выпало из разъема, не зависнув при этом на полуформах).

Если нет гарантии, что изделие будет падать в строго фиксированном первоначальном направлении, то, предусматривая возможность поворота изделия во время падения на 90° , величину e необходимо найти из следующего соотношения:

$$e = L - (h_{\text{и}} + l), \quad (4.27)$$

где L – максимальный вертикальный размер изделия.

Если же изделие падает преимущественно в первоначальном положении, то величину e принимают равную 2–10 см (большие значения e принимают для изделий больших габаритов).

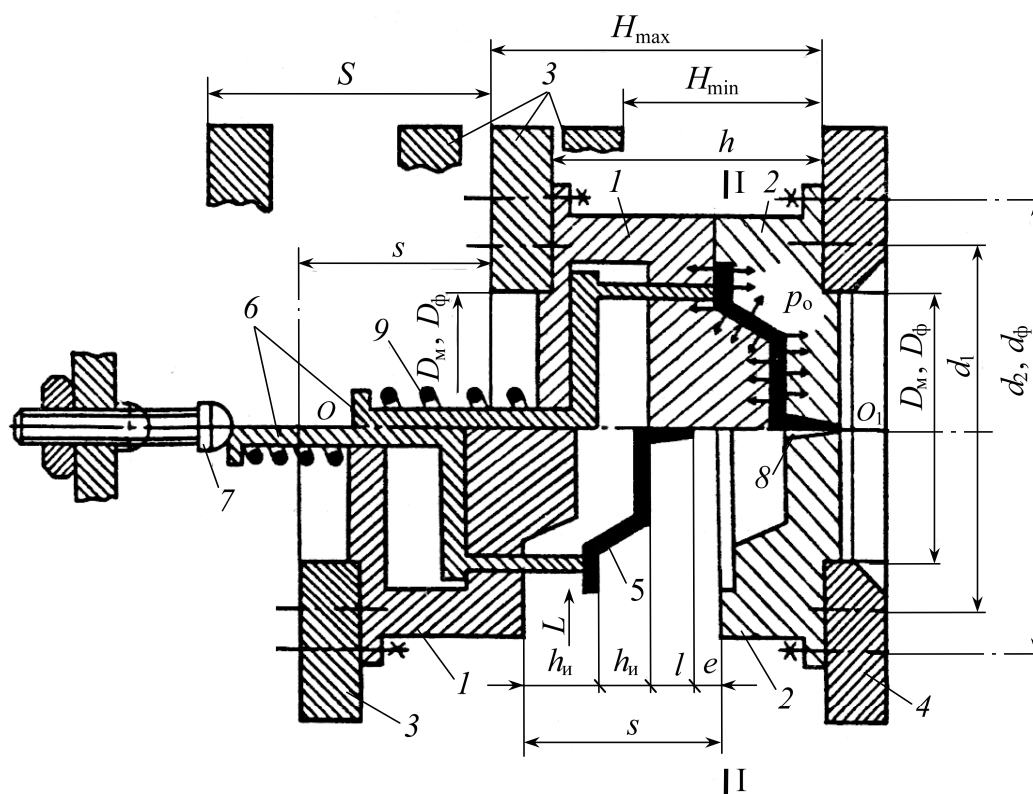


Рис. 4.51. Схема взаимодействия формы для литья под давлением термопластов с литьевой машиной:

- 1 – подвижная полуформа; 2 – неподвижная полуформа;
3 – подвижная плита машины; 4 – неподвижная плита машины;
5 – отформованное изделие; 6 – выталкиватели; 7 – упор неподвижный;
8 – центральный литниковый канал; 9 – пружина для возвращения выталкивающей системы в исходное положение

Чтобы избежать раскрытия формы во время впрыска в нее расплава и выдержки под давлением, усилие F_T , которое стремится разомкнуть форму и возникает в результате развития в оформляющей полости давления расплава p_0 (см. рис. 4.51), не должно превышать усилие запирания F_M , которое развивается механизмом смыкания: $F_M > F_T$. Это условие автоматически выполняется, если максимально допустимая площадь отливки f_m , которая может быть получена на конкретной машине, меньше фактической площади отливки f_0 . Значения f_m приводятся среди технических характеристик большинства машин-автоматов.

Если характеристика машины не содержит величину f_m , то рассчитывают величину $F_T = 0,08pf_0$. Значение f_0 определяется как площадь проекции отливки (включая литниковую систему) на плоскость разъема H (см. рис. 4.51), причем ось центрального литникового канала δ формы должна совпадать с общей осью OO_1 механизмов смыкания и впрыска. Это достигается центровкой полуформ на плитах при помощи центрующих буртиков с диаметром D_ϕ , которые входят по подвижной посадке в центральные отверстия плит с диаметром D_m . Опорные поверхности плит имеют T -образные пазы или резьбовые отверстия для закрепления полуформ. Эти отверстия расположены на одной или нескольких окружностях с диаметром d_1 (на рис. 4.51 это d_1 и d_2). Очевидно, диаметры окружностей крепежных отверстий в форме d_ϕ и плитах d_1 должны быть равными. Таким образом, эти условия соединения конструкций формы и плит машины имеют следующий вид: $D_m = D_\phi$; $d_1 = d_\phi$.

Граничные размеры формы должны уточняться с паспортными данными литьевой машины.

Вставка форм на литьевые машины выполняется подъемными средствами с помощью рым-болтов (ГОСТ 4751–91), которые устанавливаются на каждой полуформе по вертикальной оси, проходящей через центр ее тяжести. Обычно на литьевую машину устанавливают полуформы в сомкнутом положении, которые сцентрированы на направляющих колонках и втулках. Сначала при разомкнутом узле смыкания, а также при открытом безопасном ограждении и установленном в заднее положение неподвижном упоре форма помещается центрующим выступом подвижного фланца в отверстие диаметром D_m подвижной плиты 3 (рис. 4.51), и в таком положении, когда она висит на обоих рым-болтах, к плите спереди прикрепляется фланец. После этого немного ослабляются крюки, которые поддерживают рым-болты, и осторожно прерывистым поступательным пере-

движением одновременно подвижной плиты и подъемного приспособления вводится центральный выступ неподвижного фланца в отверстие диаметром D_{ϕ} неподвижной плиты 4. Такая последовательность при установке полуформ необходима из-за того, что подвижная полуформа всегда тяжелее, чем неподвижная. Этим предупреждается возможное при обратном порядке монтажа провисание формы до соединения ее подвижного фланца с плитой. При двух-, трехразовом смыкании полуформ проверяют плавность соединения направляющих колонок и втулок и прилегание площадей смыкания. При этом в колонках не должны возникать деформации изгиба, а прилегание проверяется на просвет по зажиму тонкой бумаги или по краске. При наличии отклонений проводится перемонтаж формы.

После этого приступают к регулированию упора с целью полного выталкивания изделия в конце размыкания. К замкнутой форме подводится сопло для проверки его соосности с втулкой отпечатком тонкой бумажки. Радиальный сдвиг больше 0,3 мм приводит к вытеканию массы и к сложностям при вынимании литника. В некоторых конструкциях литевых машин для обеспечения соосности предусмотрено регулирование узла впрыска по вертикали и горизонтали. Нужно заметить, что возможен сдвиг осей центрующих отверстий подвижной и неподвижной плит машины по вертикали, который возникает в результате многократного перемещения подвижной плиты и вызывает износ направляющих втулок или санок станины, в то время как неподвижная плита не перемещается и положение ее горизонтальной оси остается постоянным. Практически этот сдвиг достигает 0,3–0,5 мм. Даже в новых машинах он равен 0,2 мм, что не позволяет использовать эти отверстия как надежный центрующий элемент. Поэтому диаметр центрующего выступа неподвижного фланца проектируется по посадке $f7$ с исходной фаской $2 \times 45^\circ$, что для диаметров 175–250 мм соответствует уменьшению их на 0,6–0,8 мм.

4.1.9. Система охлаждения и регулирования температуры формы

Система термостатирования формы для литья под давлением отвечает за равномерное интенсивное охлаждение отливки во всем ее объеме. Это чрезвычайно сложно, если учитывать неравномерное распределение массы в реальных изделиях, многогнездность

большинства форм и другие факторы. Основные тепловые процессы, которые циклически повторяются и происходят при охлаждении отливок: теплопередача от расплава к поверхности металлической формы, а затем – теплопередача от нагретого металла к хладагенту, отвод тепла хладагентом и теплоотдача от формы в окружающую среду.

Скорость охлаждения изделия влияет на образование надмолекулярных структур, уровень остаточных и ориентационных напряжений и прохождения релаксационных процессов, которые при этом происходят. В частично кристаллических полимерных материалах скорость охлаждения влияет на степень кристаллизации материала изделия. Одновременное окончание охлаждения изделия по всей площади частично ликвидирует причины, вызывающие коробление изделия, и создает условия для сохранения геометрической формы и размеров в заданных границах. Система охлаждения должна обеспечить снижение среднемассовой температуры изделия к моменту извлечения его из формы до такой величины, при которой выталкивание изделия осуществляется без его механического повреждения. Соответственно этой величине время охлаждения следует считать минимальным. Система термостатирования должна регулировать температуру формы и поддерживать ее на заданном уровне.

Классификация системы охлаждения может быть построена по разным признакам:

- месту охлаждения: вне формы и в форме. Охлаждение изделий вне формы происходит на съемных деталях, на специальных приспособлениях и в ваннах с охлаждающей жидкостью. Охлаждение формы происходит контактно и непосредственно;
- форме сечения каналов: круглые, камерные, прямоугольного сечения;
- размещению круглых каналов: параллельные, пересекающиеся, с перегородками и трубками;
- размещению камерных каналов: по спирали на плоскости; по спирали на цилиндрических поверхностях, прямолинейно, криволинейно и т. д.;
- размещению каналов прямоугольного сечения: на опорной плоскости формообразующих деталей или на деталях, примыкающих к ним; на специальных деталях, устанавливаемых внутрь формообразующих деталей; в пластинах, которые размещаются на оформляющих поверхностях, где находятся каналы охлаждения.

При конструировании системы термостатирования температуру формы можно регулировать двумя способами:

- изменением средней температуры хладагента;
- изменением расхода хладагента.

При конструировании системы термостатирования необходимо учитывать следующие основные требования:

- суммарная длина каналов должна быть наибольшей (но не меньше, чем расчетное значение);
- размещение каналов, а также направление потока хладагента от более нагретых частей к менее нагретым должно обеспечить, по возможности, равномерное охлаждение формирующих элементов форм; нужно учитывать, что температура формы в зоне впрыска всегда немного выше, чем на периферийных участках;
- более интенсивное охлаждение должно быть предусмотрено в месте, где находятся подвижные элементы формы (выталкиватели, плиты съема, подвижные знаки), что позволяет исключить деформацию изделий при извлечении из формы;
- поскольку коэффициент теплоотдачи с изменением скорости движения жидкости изменяется в широком диапазоне, то в системе каналов не должно быть участков, в которых увеличивается сечение, и, особенно, застойных зон, где охлаждающая жидкость может исполнять роль теплоизолятора;
- система охлаждения должна быть герметичной, что проверяют при давлении 0,6 МПа.

Непосредственное охлаждение круглыми каналами деталей формы является наиболее эффективным. Для охлаждения плоских изделий, как правило, используют каналы в виде замкнутого контура, которые размещены в обеих полуформах. На рис. 4.52, 4.53 показана конструкция канального охлаждения формы для плоских изделий. Их разветвление зависит от габаритов формируемого изделия и гнездности формы (рис. 4.54).

При охлаждении внешних и внутренних поверхностей круглых изделий используют разные способы. Для охлаждения матриц, которые формируют внешние поверхности, пропускают хладагент через просверленные в матрицах или обоймах матриц каналы (каналы сквозные, с заглушками, глухие); трубчатые змеевики, вложенные в тело матриц; винтовые или кольцевые каналы в матрицах или обоймах матриц и т. д. (рис. 4.55).

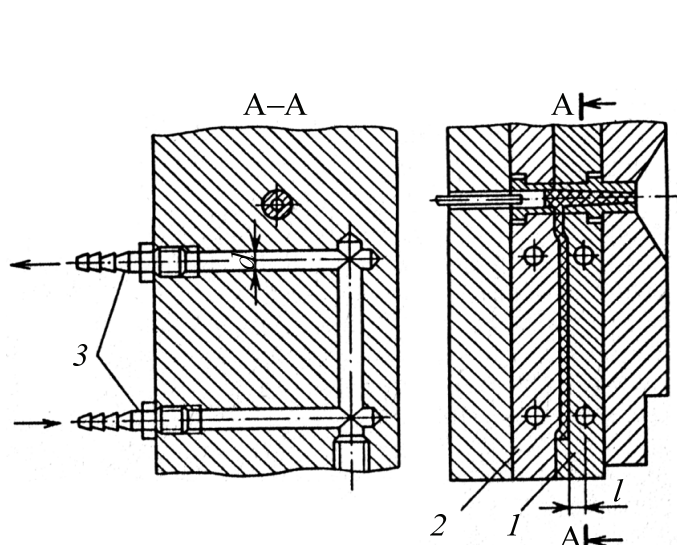


Рис. 4.52. Конструкция каналов охлаждения:
1 – неподвижная полуформа;
2 – подвижная полуформа; 3 – ниппели

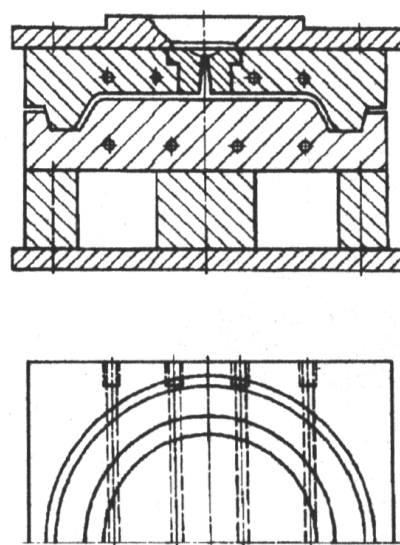


Рис. 4.53. Расположение каналов охлаждения

В пуансонах, которые формируют внутренние поверхности изделия, делают охлаждающие каналы или полости – в зависимости от размеров пуансонов. Каналы сверлят и в обоймах пуансонов (в многогнездных формах) или дополнительных плитах. Полости фрезеруют.

На рис. 4.56 приведен пример конструирования каналов охлаждения в составном пуансоне. Каналы охлаждения пуансонов в многогнездных формах, как правило, соединяются последовательно или параллельно (рис. 4.57).

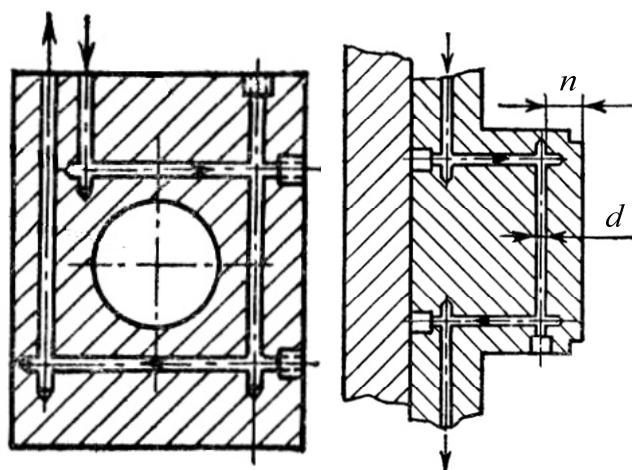


Рис. 4.54. Каналы охлаждения в пуансоне сложной формы

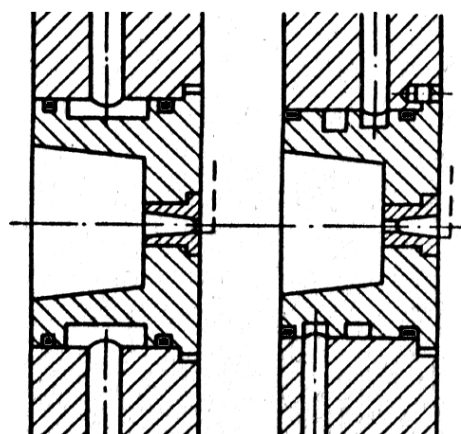


Рис. 4.55. Кольцевые и винтовые каналы охлаждения в матрице

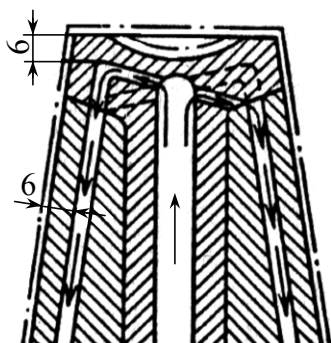


Рис. 4.56. Пример
каналов
охлаждения
в составном пуансоне

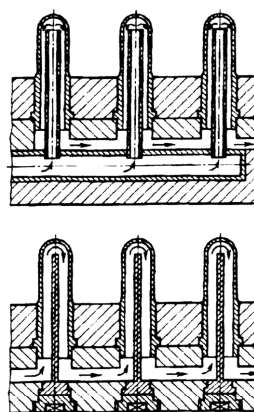


Рис. 4.57. Параллельное
и последовательное соединение
каналов охлаждения
в многогнездных формах

Охлаждение длинных и тонких пуансонов требует определенных конструкторских решений. Применяют «пальцевое» охлаждение, причем теплоотдающие поверхности отверстий «пальцев» делают развитыми, например шлицевыми, в отверстия вставляют плоские перегородки или трубки, а также витые перегородки или поперечные ребра в достаточно широких пуансонах, что способствует турбулизации струи хладагента и интенсификации теплообмена (рис. 4.58). Оценка поверхности теплообмена при таком ее сложном характере с достаточной степенью точности почти невозможна, и здесь главное – опыт конструктора.

Производительность системы охлаждения определяется тем, насколько равномерна и стабильна температура оформляющих поверхностей. Необходимо обеспечивать разницу температур на поверхности каждой из полуформ в $3\text{--}5^\circ\text{C}$.

Интенсивность охлаждения и его равномерность зависят от расположения каналов охлаждения относительно гнезда формы, от поперечного сечения каналов и расстояния между ними, а также от их оформляющей поверхности. Сложности с расположением каналов возникают в связи с тем, что они должны огибать такие детали формы, как выталкиватели, направляющие колонки и т. д. Исходя из опыта конструирования и изготовления форм, диаметры охлаждающих каналов принимают равными 8–10 мм, в самых узких местах они должны быть не менее 6 мм, а сечение – не менее $25\text{--}30\text{ мм}^2$. Наибольшая величина сечения канала не должна быть более $280\text{--}300\text{ мм}^2$. При больших сечениях необходимо большее количество охлаждающей жидкости.

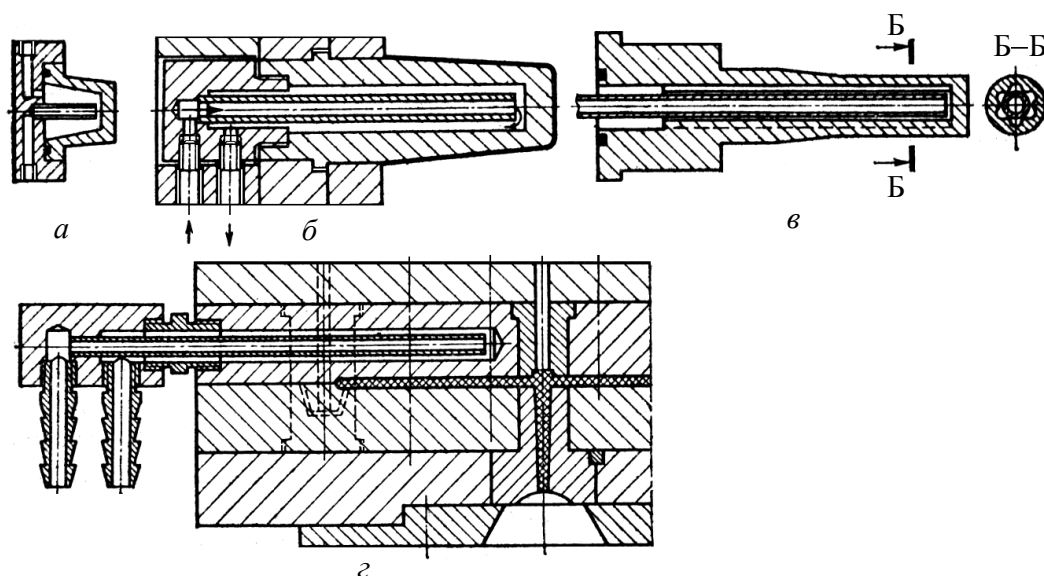


Рис. 4.58. Примеры охлаждения длинных и тонких пуансонов:
а – неудачная полостная система; *б, в* – правильно спроектированные системы;
г – с применением специальных узлов, в случае невозможности
 следует использовать сквозные каналы

Длина каналов должна быть минимальной с тем, чтобы разница температуры хладагента на входе и выходе из канала не была больше $2-3^{\circ}\text{C}$.

Каналы диаметром или шириной (в случае прямоугольного сечения) до 12 мм должны находиться на расстоянии от поверхности формы, примерно равном диаметру или ширине канала. Наиболее благоприятное расстояние между каналами охлаждения от одного до полутора диаметров канала. Поэтому при температуре формы более 70°C рекомендуется устанавливать теплоизолирующие прокладки между формой и плитами машины для литья.

Герметизация уплотнительных поверхностей в системе охлаждения имеет большое значение. На рис. 4.59 показаны сечения и размещение уплотнительных элементов (*а, б, в* – уплотнение плоскости; *г, д, е* – уплотнения на посадочных и запирающих диаметрах).

Нужно обратить внимание на размещение приемной фаски (обычно она принимается 15×1 или 15×2 мм), что предупреждает срез выступающей части плотного кольца, внутренний диаметр которого обычно проектируется с натягом 2–3 мм относительно диаметра, на котором оно устанавливается. Материалом для уплотнительных колец служит термостойкая резина марки 7МБА-М ГОСТ 9833–83. Размеры колец нормализованы и имеются в справочной литературе.

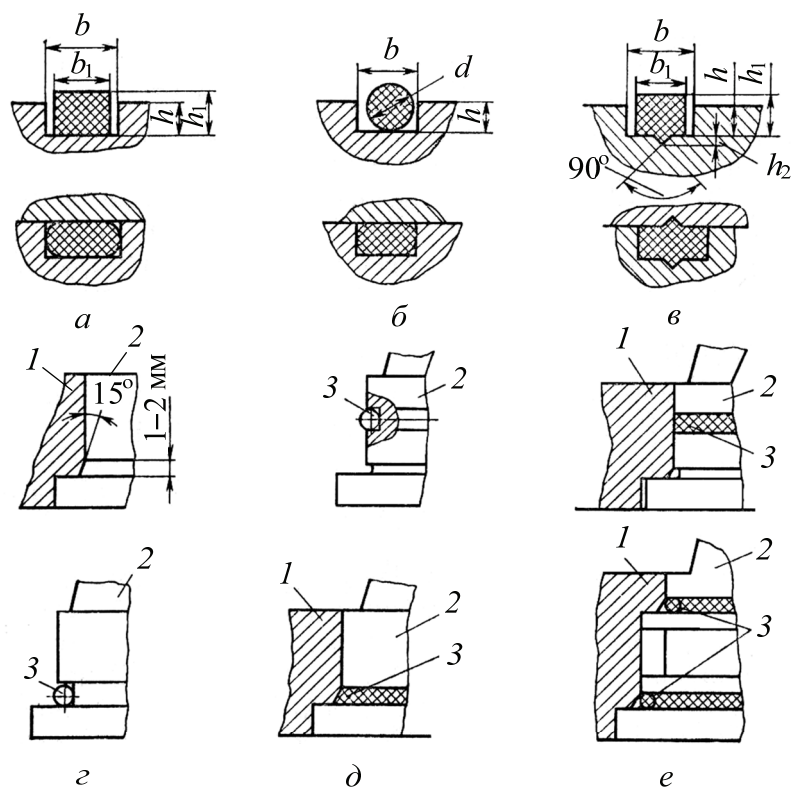


Рис. 4.59. Герметизация системы охлаждения:
1 – матрицедержатель; 2 – матрица; 3 – уплотнитель

В табл. 4.9 приведены температуры, которые рекомендуются при переработке некоторых термопластов.

Таблица 4.9

Рекомендуемые температуры при переработке термопластов

Материал	Температура, °С	
	переработки	формы
Полиамид 6, полиамид 66	215–280	80–120
Поликарбонат	270–320	90–120
ПЭВД	160–260	0–60
ПЭНД	220–300	0–60
Полипропилен	180–300	0–60
ПВХ мягкий	100–175	50–80
ПВХ твердый	160–175	50–80
Полиметилметакрилат	200–250	40–90
Полистирол	160–240	30–50
АБС-пластик	180–230	50–80
Полиформальдегид	180–220	80–130

Расчет системы охлаждения. Переход в твердое состояние полимера в форме требует отвода большого количества теплоты. В связи с этим продолжительность цикла литья в значительной степени зависит от эффективности отвода теплоты и от температуры отливки, которая при этом достигается. Кроме этого, режим охлаждения существенно влияет на качество изделий.

Задачи расчета системы охлаждения определяются следующим образом: устанавливают количество теплоты, которое расплав отдает форме; находят расход хладагента (чаще всего – воды), задаваясь допустимой разностью температур на входе и выходе из системы охлаждения (или наоборот); определяют скорость движения хладагента, при этом исходят из заданных, выбранных диаметров охлаждающих каналов или размеров; определяют коэффициент теплоотдачи от формы к хладагенту, критерии, которые характеризуют процесс теплообмена; рассчитывают площадь теплоотдающей поверхности, длину и количество каналов или поперечное сечение полостей, расстояние между каналами. При необходимости корректировки размеров выбранного диаметра каналов или размеров полости решение задач в упомянутой выше последовательности повторяется.

– Время охлаждения, с, определяется с помощью формулы

$$\tau_{\text{охл}} = \frac{0,405}{a} \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 \left(\ln 1,27 - \ln \frac{t_k - t_{\text{ф}}}{t_n - t_{\text{ф}}} \right), \quad (4.28)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; δ – толщина изделия, м; t_k – температура в середине стенки изделия, при которой раскрывается форма (принимают на $8\text{--}10^\circ\text{C}$ выше, чем $t_{\text{ф}}$; меньшие значения для мягких материалов, большие – для жестких прочных; для стеклонаполненных материалов можно принимать $t_k > t_{\text{ф}}$ на $20\text{--}30^\circ\text{C}$); $t_{\text{ф}}$ – средняя за цикл температура оформляющих поверхностей, $^\circ\text{C}$; t_n – начальная температура изделия, равная температуре расплава, который впрыскивается в форму, $^\circ\text{C}$.

– Время цикла, с,

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{охл}} + \tau_{\text{ср}} + \tau_{\text{впр}}, \quad (4.29)$$

где $\tau_{\text{охл}}$ – время охлаждения, с; $\tau_{\text{ср}}$ – время смыкания и размыкания полуформ, с; $\tau_{\text{впр}}$ – время впрыскивания, с.

– Количество теплоты Q_0 , которое поступило с расплавом и передается отливке, Дж,

$$Q_0 = m_0 c_0 (t_n - t_k), \quad (4.30)$$

где $m_0 = m_{\text{и}} n + m_{\text{л}}$ – масса отливки, кг ($m_{\text{и}}$ – масса изделия, кг; n – количество гнезд; $m_{\text{л}}$ – масса литников, кг); c_0 – удельная теплоемкость материала отливки, Дж/(кг·°С); t_k – средняя (согласно объему отливки) температура изделия при раскрытии формы, °С.

$$t_k = t_{\text{ф}} + 2 \frac{t_n - t_{\text{ф}}}{\pi}. \quad (4.31)$$

– Количество теплоты, которое отводится хладагентом,

$$Q_x = Q_0 \pm Q_{\text{пот}}, \quad (4.32)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери теплоты в окружающую среду (минус), или количество теплоты, которую получает форма из окружающей среды (плюс).

В тепловых расчетах литевых форм теплообмен с окружающей средой в большинстве случаев можно не учитывать. Тогда

$$Q_x = Q_0.$$

Но когда хладагент подогревается до высокой температуры, то внешний теплоотвод нужно учитывать, при этом

$$Q_{\text{пот}} = Q_k + Q_t + Q_{\text{и}}, \quad (4.33)$$

где Q_k , Q_t , $Q_{\text{и}}$ – количество теплоты, которое передается в окружающую среду соответственно конвекцией, через крепежные плиты машины (теплопроводность) и через излучение.

Поскольку в этом случае необходимо предусматривать тепловую изоляцию формы по отношению к плитам машины, то Q_t в расчете можно не учитывать. При высокой температуре формы $Q_{\text{и}} \approx 0,25 Q_k$. Поэтому окончательно можно записать

$$Q_{\text{пот}} = 1,25 Q_k; \quad (4.34)$$

$$Q_k = \alpha F_{\text{б}} (t_{\text{пф}} - t_{\text{в}}) \tau_{\text{ц}}, \quad (4.35)$$

где α – коэффициент теплоотдачи (при естественной конвекции в воздухе можно принять $\alpha = 8 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} / ^\circ\text{С}$); $F_{\text{б}}$ – площадь боковых поверхностей формы, м²; $t_{\text{пф}}$ – температура на поверхности формы, °С; $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

– Расход хладагента, кг,

$$g_x = \frac{Q_x}{c_x \Delta t_x}, \quad (4.36)$$

где c_x – удельная теплоемкость хладагента, Дж/(кг · °С); Δt_x – разница температур хладагента на выходе и входе в канал (принимают не более чем на 2–4°С, чтобы избежать неравномерности охлаждения).

Расход, кг, хладагента через пуансон и матрицу принимают пропорционально к площади оформляющих поверхностей $F_{п(м)}$

$$g_x^{п(м)} = g_x \frac{F_{п(м)}}{F_{общ}}, \quad (4.37)$$

где $F_{п(м)}$ и $F_{общ}$ определяют согласно чертежу пуансона и матрицы или согласно чертежу изделия, м² ($F_{общ}$ – суммарная площадь оформляющих поверхностей пуансона $F_{п}$ и матрицы $F_{м}$).

– Площадь поперечного сечения каналов, м²,

$$f_k^{п(м)} = \frac{g_x^{п(м)}}{\rho_x \tau_{ц} w}, \quad (4.38)$$

где ρ_x – плотность хладагента, кг/м³; w – скорость течения хладагента, м/с (принимают $w = 0,5–1,0$ м/с).

– Диаметр канала, или длина стороны сечения (если канал прямоугольный), м,

$$d_k^{п(м)} = 1,13 \sqrt{f_k^{п(м)}}. \quad (4.39)$$

Когда в результате расчета получены неприемлемые результаты, например слишком маленький (нетехнологичный) диаметр канала, то необходимо увеличить расчетный расход хладагента путем уменьшения Δt_x или использовать другой хладагент с другой теплоемкостью c_x . Когда диаметр, наоборот, получается очень большим, то расход уменьшают путем перехода на хладагент с большей c_x или Δt_x или увеличивают скорость хладагента w . При этом нужно учитывать, что слишком большое увеличение Δt_x дает значительную неравномерность температурного поля формы.

– После окончательного выбора $d_k^{п(м)}$ определяют длину каналов с условием, что эффективная площадь их поверхности должна быть не меньше охлаждающей площади оформляющих поверхностей пуансона или матрицы, это значит

$$F_{\kappa}^{п(м)} \geq F_{п(м)}, \quad (4.40)$$

где $F_{\kappa}^{п(м)}$ – площадь поверхности охлаждающих каналов пуансона (матрицы), $м^2$.

Суммарная длина, м, каналов круглого сечения

$$l_{\kappa}^{п(м)} = \frac{F_{\kappa}^{п(м)}}{\pi d_{\kappa}^{п(м)}}. \quad (4.41)$$

4.1.10. Система удаления отливок из формы

Назначение системы – это удаление без повреждения отливки из формы за возможно короткое время и возврат системы в первоначальное состояние. Проблемы выталкивания изделий связаны с изготовлением рациональной схемы конструкции системы.

В процессе литья после уплотнения отливки и охлаждения изделия в форме начинается размыкание полуформ, одновременно с ним происходит извлечение пуансоном изделия и литников из матрицы. Усадка изделия обеспечивает его извлечение из матрицы и удерживание на пуансоне. После извлечения из матрицы изделие охлаждается за счет излучения тепла в окружающую среду и за счет охлаждающей жидкости, которая циркулирует в каналах.

Усадка изделия, которая происходит как при закрытой форме, так и во время его извлечения из матрицы до начала сталкивания с пуансоном, должна была вызвать, кроме беспрепятственного уменьшения изделия по толщине и в результате этого – отход внешней поверхности изделия со стенок матрицы и проникновение воздуха в пространство между ними, также его уменьшение по всем размерам. Однако помехи, которые встречаются им со стороны пуансона, не позволяют уменьшаться изделию по внутреннему контуру и вызывают из-за этого соответственные напряжения растяжения по всему сечению. Силы адгезии (прилипания) остывающей отливки к поверхности пуансона, которые зависят от природы материалов, величины микронеровностей поверхности пуансона и величины остаточного давления, часто действующего в полости после уплотнения отливки, тоже мешают сталкиванию изделий. Также сталкиванию изделий мешают силы, которые возникают из-за разности

давлений атмосферного и в полости, которые возникают между внутренней поверхностью изделия и внешней поверхностью пуансона при сталкивании.

Таким образом, результирующее усилие, которое прижимает изделие к поверхности формы, должно быть преодолено силой, удаляющей изделие (полное осевое усилие, которое преодолевает силы трения, вызываемые результирующим усилием, и которое также идет на перемещение деталей выталкивающей системы). Значимым является обеспечение такого усилия, при котором невозможны повреждения отливки и сминание поверхностей под выталкивателями (прогиб, растяжение или срезание стенок, перпендикулярных направлению выталкивания, гофрирование стенок и т. д.). Здесь наиболее значимыми факторами являются температура изделия в начале удаления его из формы и, кроме этого, величины коэффициента трения, адгезии, допустимые напряжения материала при температуре извлечения изделия.

Система удаления отливок из формы складывается из деталей, которые образуют выталкивающее пространство для размещения плит выталкивающей системы, выталкивателей, направляющих элементов, деталей возврата системы в первоначальное состояние.

По конструкции и принципу действия выталкиватели достаточно разнообразны: стержневые, плоские, грибовые, трубчатые, сталкивающие плиты, кассеты, пневматические и гидравлические.

Конструкция стержневого выталкивателя представлена на рис. 4.60, *а*.

Отверстие, в котором перемещается выталкиватель, делают по качеству Н7, а длину отверстия принимают $l = 1,5d + 5$ мм.

Грибовые выталкиватели (рис. 4.60, *б*) используют в основном при необходимости увеличить площадь контакта выталкивателя с изделием для предотвращения пластических деформаций и разрушения тонкостенных изделий из материалов с низким модулем упругости (поливинилхлорид, полиэтилен и др.).

Трубчатые выталкиватели (рис. 4.60, *в*) используют для извлечения изделий с глубокими сквозными или глухими отверстиями (например, катушка, трубка, панель с отверстиями и др.), когда на оформляющих их знаках возникают большие усилия сцепления и применение других выталкивателей может привести к разрушению изделия.

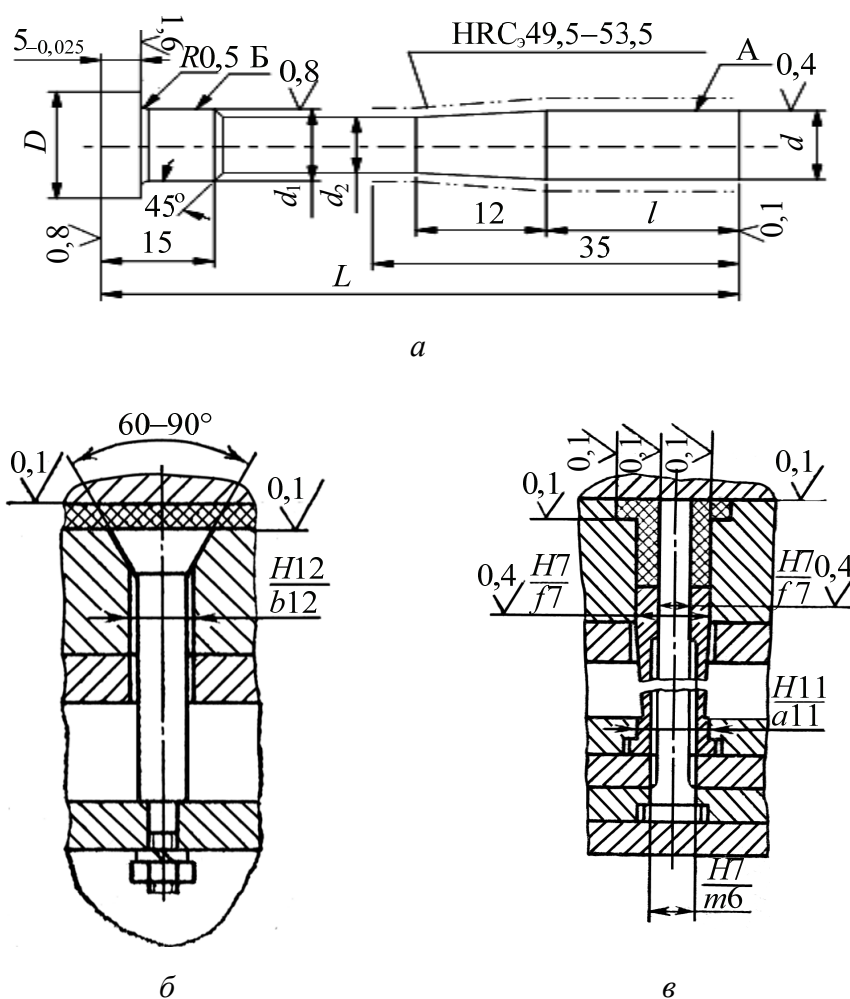


Рис. 4.60. Конструкции выталкивателей

Плиты съема обычно применяют в том случае, когда при выталкивании необходимо преодолеть значительные усилия (эластичные материалы, небольшие поднутрения на внутренних поверхностях и т. д.), извлекается нетвердое тонкостенное изделие, которое легко деформируется. Плита позволяет равномерно распределить усилие снятия на большую поверхность и тем самым обеспечить минимальное давление на единицу ее площади. Плиты съема имеют еще одно преимущество перед стержневыми и плоскими выталкивателями: они позволяют конструктору более маневренно располагать каналы и полости для охлаждения формы.

Пневматические системы выталкивания используют для снятия с пуансона (матрицы) крупногабаритной посуды и изделий с полостями из материалов с низким модулем упругости (рис. 4.61).

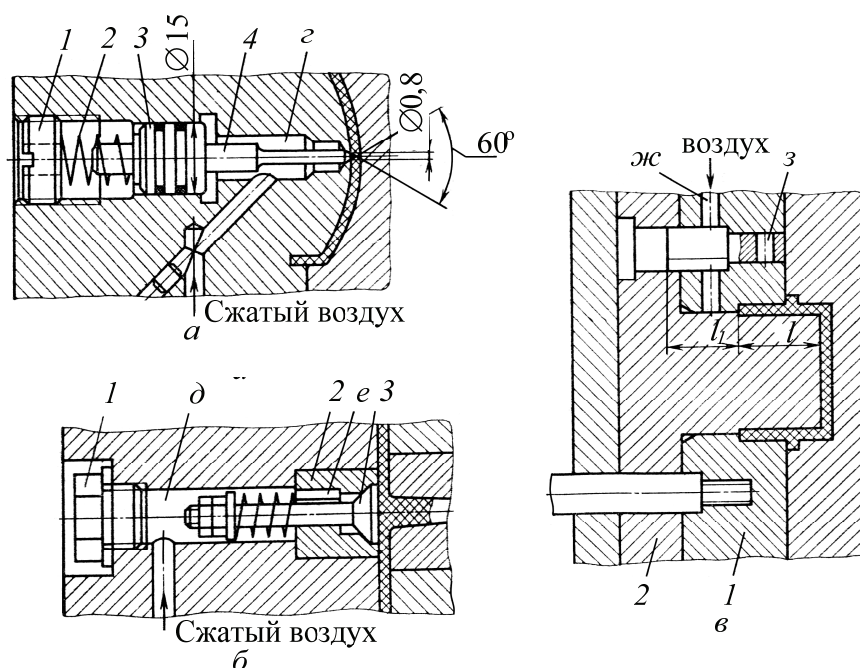


Рис. 4.61. Пневматические системы выталкивания

На рис. 4.61, а, б, сжатый воздух с давлением 4 атм подводится под изделие через грибковый или игольчатый клапаны. На сложных криволинейных поверхностях рекомендуют использовать игольчатые клапаны (рис. 4.61, а), которых может быть несколько в одном гнезде. При подаче воздуха в полость z поршень 3 с иглой 4 перемещаются влево, открывая отверстие клапана. Воздух подается под изделие и скидывает его. Давление срабатывания клапана должно быть больше, чем давление материала на иглу и регулируется пробкой 1 и пружиной 2. Для подвода воздуха к гнезду достаточно иметь отверстие диаметром 0,8–1,0 мм. Для более надежной работы игла клапана должна быть термически обработана и притерта. Преобладание конструкции заключается в том, что на поверхности изделия остается незначительный след от иглы, недостаток – она более сложная по сравнению с грибковым клапаном.

Грибковый клапан более прост в конструктивном и технологическом отношении и широко используется для изделий с простой поверхностью. Сжатый воздух подводится в полость d и через каналы e действует на грибок 3, открывая его. Седло 2 должно быть термообработано. Пробка 1 облегчает доступ к клапану при его ремонте.

На рис. 4.61, в приведен пример съема изделия с пуансона 2 сталкивающей плитой 1 и выталкивания его из плиты сжатым

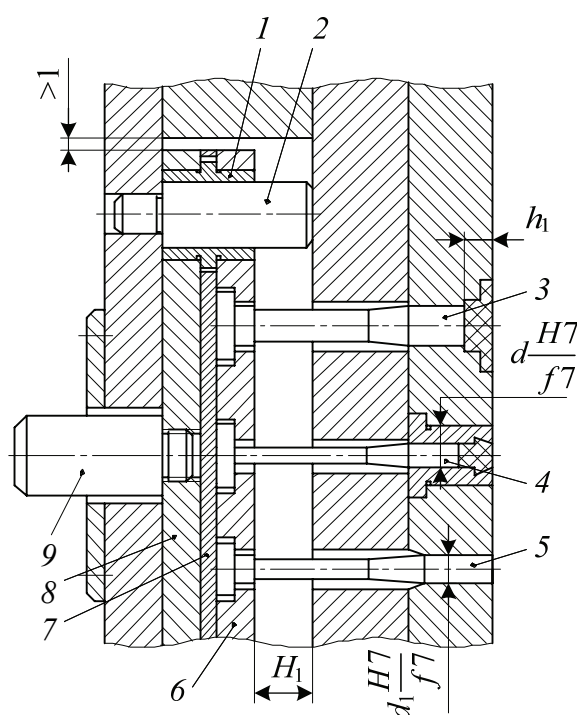


Рис. 4.62. Типовая система выталкивания:
 1 – втулка направляющая; 2 – колонка направляющая; 3 – выталкиватель;
 4 – центральный выталкиватель;
 5 – контролкатель; 6 – плита выталкивателей; 7 – плита прокладочная;
 8 – плита опорная; 9 – хвостовик

воздухом, который подается в пространство между пуансоном и изделием при совмещении отверстий $ж$ и $з$. Во избежание утечки воздуха должно выдерживаться соотношение $l_1 > l$.

На рис. 4.62 показана типовая система выталкивания.

Выталкиватели 3 установлены в плите 6 выталкивателей с зазором 0,2–0,5 мм, который обеспечивает их самоустановку относительно направляющего отверстия матрицы, и укреплены в ней с помощью опорной плиты 8. Для предотвращения протекания материала в зазор между головкой выталкивателя и направляющим отверстием матрицы, что может привести к заклиниванию изделия, соединение

выполнено согласно посадке $H7/f7$, для размера меньше 6 мм – согласно посадке $H9/f9$. Отношение длины l направляющей головки выталкивателя к его диаметру d необходимо принимать исходя из следующих данных:

d , мм	до 3	3–5	5–10	>10
l/d	3–4	4–3	3,0–2,5	2,5–2,0

Когда диаметр головки цилиндрического выталкивателя не превышает 4 мм, то для исключения удлиненного изгиба его делают ступенчатым.

Центрирование и направление выталкивающей системы обеспечивают направляющие втулки 1 и колонки 2, которые одновременно выполняют функции дополнительной опоры (рис. 4.62). Конструкция и размеры втулок и колонок делаются соответственно ГОСТ 17389–82 и ГОСТ 17386–82 (рис. 4.63).

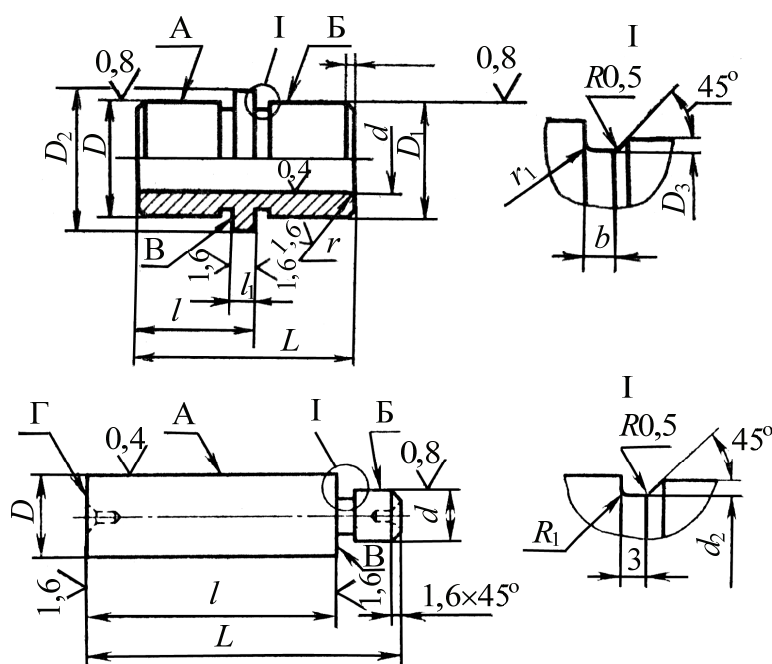


Рис. 4.63. Конструкция и размеры направляющих втулок и колонок

В процессе раскрытия формы выталкиватели перемещаются в направлении снятия изделий упором литьевой машины через хвостовик 9 (или без него), который закрепляется в плите 8 (рис. 4.62).

При смыкании формы система возвращается в исходное положение контрвыталкивателями 5 или другими системами. Легкие выталкивающие системы с небольшим количеством выталкивателей или с одним сталкивателем литника могут возвращаться в исходное положение пружиной (ее можно устанавливать и для предотвращения самопроизвольного выкручивания штока), которая располагается на хвостовике. Конструкция и размеры хвостовика даны в ГОСТ 22080–82 и ГОСТ 22078–82 (рис 4.64).

Хвостовик 9 (рис. 4.62) делают подпружиненным (рис. 4.64, а), когда есть возможность зависания отливки на выталкивателях, или без пружины (рис. 4.64, б).

Одно из необходимых условий работы формы в автоматическом режиме – надежное извлечение литника из центрального литникового канала при раскрытии формы и сталкивание его.

В многогнездных формах, как правило, элементы, которые обеспечивают извлечение центрального литника из втулки, находятся в подвижной части формы, в одногнездных – обычно в неподвижной части.

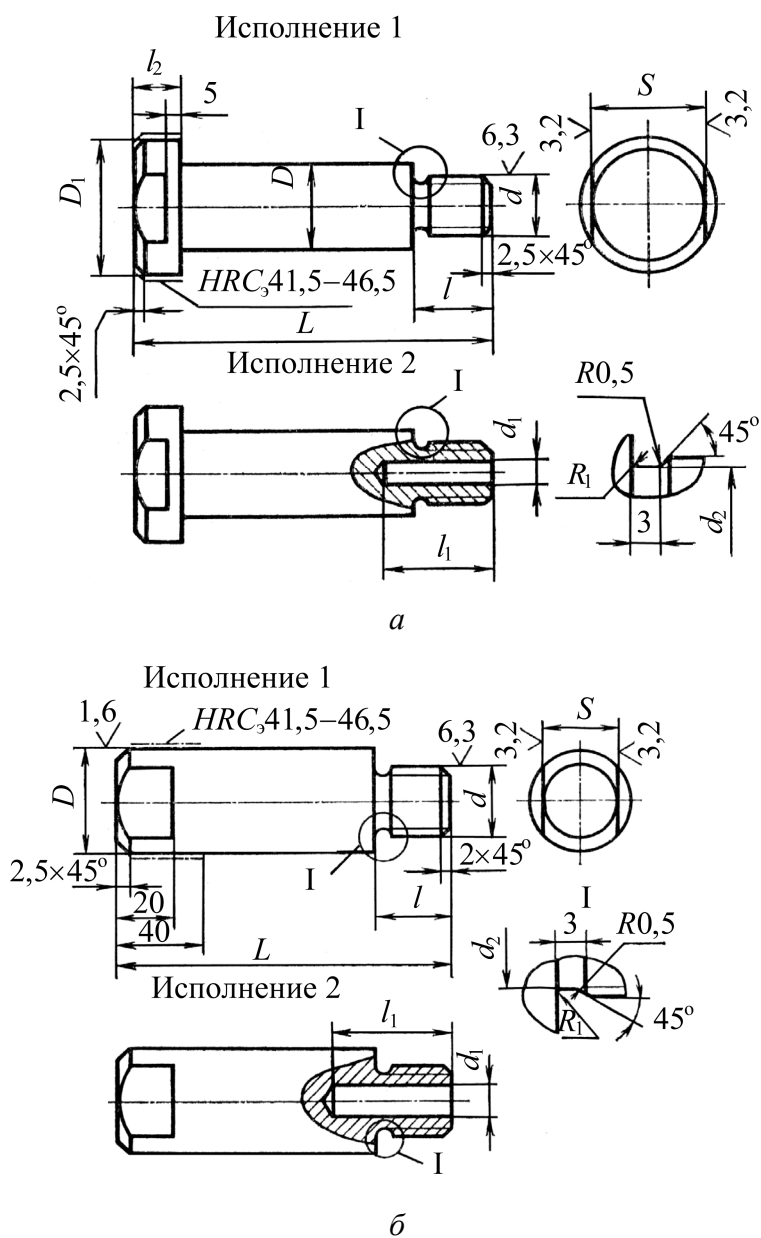


Рис. 4.64. Конструкция хвостовика

Наиболее характерные варианты решения этой задачи для многогнездных форм даны на рис. 4.65.

На рис. 4.65, а приведено зацепление в виде наклоненного среза. Это технологичный в изделии вариант, но требует фиксации центрального выталкивателя.

На рис. 4.65, б зацепление выполнено в центральной втулке в виде конической расточки (для жестких материалов $\alpha = 5^\circ$, для мягких $\alpha = (8-10)^\circ$). Эта конструкция менее технологична в изделии, но

более надежна в эксплуатации. Коническую расточку можно заменить тетраэдральной проточкой. Для исключения среза поднутрения размер 1,0–1,5 обязательный. Конструкция и размер центральной втулки представлен в ГОСТ 22078, рис. 4.66.

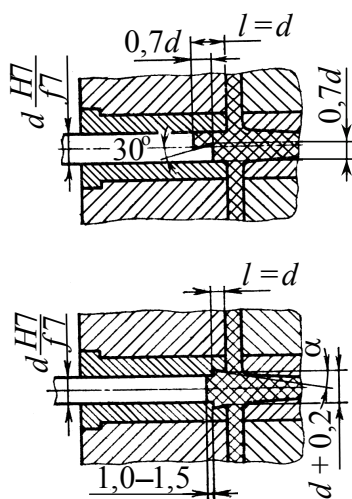


Рис. 4.65. Извлечение центрального литника

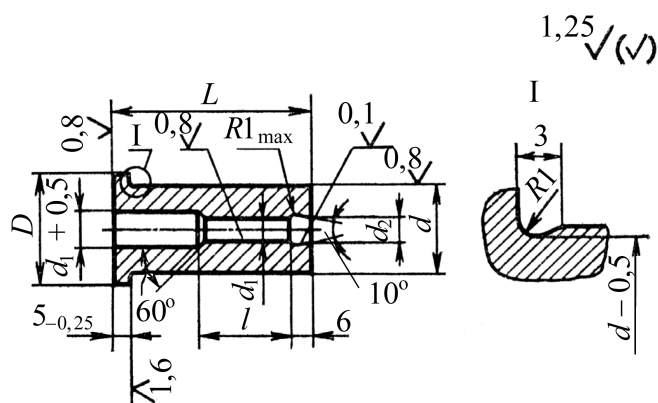


Рис. 4.66. Центральная втулка

Расчет напряжений выталкивания отливок. При выборе способа выталкивания учитывают силу, с которой изделие давит на оформляющую поверхность (чаще всего пуансона). Величина этой силы зависит от следующих факторов: усадки после литья; адгезии на поверхности формы; вакуума, который образуется в пространстве между пуансоном и деталью; упругой деформации формы; конфигурации и величины изделия; вида сырья; конструкции гнезда; характера охлаждения и технологических параметров литья.

После размыкания формы пуансон обжимается отливкой. Усадке отливки в осевом направлении мешают силы трения на поверхности пуансона, а в радиальном – сам пуансон. Происходит сжатие объема пластмассы. Уменьшение толщины стенки определяется из формулы

$$\varepsilon = \frac{3s}{100}, \quad (4.42)$$

где s – усадка, %

Напряжение растяжения в отливке, МПа,

$$\sigma_p = \varepsilon E, \quad (4.43)$$

где ε – относительное изменение толщины стенки отливки; E – модуль упругости материала детали при температуре снятия, МПа.

Удельное давление p , МПа, отливки на пуансон

$$p = \sigma_p \frac{2\delta}{d}, \quad (4.44)$$

где δ – толщина стенки отливки, см; d – максимальный диаметр пуансона, см.

Сила сталкивания отливки с пуансона

$$p_c = fpF, \quad (4.45)$$

где f – коэффициент трения пластмассы по пуансону; F – площадь боковой поверхности отливки, см².

Воздействие микронеровностей на величину силы выталкивания незначительное, и его тяжело определить. В то же время воздействие микронеровностей матрицы на величину усилия размыкания формы может быть значительным. Для того чтобы отливка не оставалась в матрице, делают точную обработку ее поверхности, а на пуансоне в некоторых случаях наносят дополнительные риски, которые удерживают отливку на пуансоне.

Значения коэффициента трения пластмасс по стали f представлены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Коэффициент трения пластмассы по стали

Название материала	f	Название материала	f
Полиэтилен высокой плотности	0,20	Поликарбонат	0,45
Полипропилен	0,25	Полиметилметакрилат	0,50
Полиформальдегид	0,20	АБС-пластик	0,50
Полиамид	0,30	Полиэтилен низкой плотности	0,55
Полистирол	0,40	Поливинилхлорид	0,55
Ударопрочный полистирол	0,45		

Правильность расчета усилия зависит от соответствия рассчитанной температуры снятия и реальной. Поскольку теплопроводность пластмассы очень низкая, то деталь внутри при снятии, как правило, остается теплой или даже горячей. Таким образом, модуль упругости такой детали можно принять соответствующим средней температуре детали.

Таблица 4.11

Модуль упругости пластмасс в зависимости от температуры

Материал	Модуль упругости E , МПа, при температуре снятия, °C				
	20	40	60	80	100
Полиэтилен низкой плотности	130	60	38	–	–
Полиэтилен высокой плотности	850	500	150	–	–
Полипропилен	1300	700	250	20	–
Полистирол	3400	3200	2800	–	–
Полистирол стеклонаполненный	8200	8000	7600	6000	–
Полиметилметакрилат	3500	3200	2700	2100	–
Поливинилхлорид твердый	3000	2100	1400	–	80
Полиамид 66	2700	2300	1800	1400	–
Полиамид 6	1500	60	30	20	–
Полиамид стеклонаполненный	7000	7000	6000	4200	1600
Поликарбонат	2300	2000	1800	1700	–

С достаточной точностью можно также принять, что температура снятия равна одной четвертой суммарной температуры расплава и формы. Например, при температуре расплава 180°C и температуре формы 30°C температуру снятия можно принять равной $(180 + 30) / 4 = 52,5^{\circ}\text{C}$, а соответствующий модуль упругости E для расчета – из табл. 4.11.

Удаление резьбовых изделий из формы требует предварительного скручивания резьбооформляющих знаков или выкручивания изделия из резьбооформляющих гнезд. Соппротивление этому оказывает сила трения, которая возникает при вращении знака в пластмассовой резьбе (или наоборот).

Резьба пластмассового элемента сжимается от усадки, но эта усадка несвободная, и в теле изделия возникают внутренние напряжения. Можно условно принять, что эти напряжения подчиняются закону Гука на упругом участке зависимости $\sigma - \varepsilon$, причем ε имеет такое же значение, что и усадка, поскольку удлинение невозможно из-за сжатия материала изделия в форме.

При равновесии сил напряжения момент трения при откручивании определяется зависимостью

$$M_{\text{тр}} = fsEV, \quad (4.46)$$

где V – объем резьбовой части изделия.

Величина $M_{\text{тр}}$ является исходной для расчета привода скручивания.

4.2. Формы для прессования (пресс-формы)

4.2.1. Назначение, конструкция и принцип действия форм для прессования

Пресс-формы для получения различных изделий должны обеспечивать: перевод массы в вязкотекучее состояние, деформирование массы и придание ей определенной конфигурации (соответствующей полости, которая образуется в сомкнутой форме); фиксирование этой конфигурации, это значит изделия; извлечение, удаление отпрессованного изделия из рабочей зоны.

Конструкции пресс-форм очень разнообразны, они отображают особенности и требования, которые предъявляются к изделиям, но при этом каждая пресс-форма должна надежно, продуктивно и качественно выполнять свое назначение.

В пресс-формах изготавливают изделия из всех видов реактопластов. В нагретых пресс-формах происходит деформирование пресс-материала, перевод его в вязкотекучее состояние, формование изделия, отверждение смолы, которая связывает, фиксирование конфигурации изделия, что позволяет доставать изделие из нагретой формы.

Глубина и степень протекания реакции (степень отверждения) прямо определяет комплекс технологических свойств расплава (его эффективную вязкость), удельный объем, а также выходные характеристики отвержденного изделия, причем эти характеристики при фиксированных температуре, давлении, интенсификации деформирования расплава являются однозначной функцией степени отверждения. Таким образом, конструкция пресс-формы должна обеспечивать по возможности одинаковую степень отверждения материала в объеме изделия, в этом случае будут минимальными градиенты напряжений (термических, усадочных), неоднородность, разброс качественных параметров. Для этого необходимо создать и эффективно поддерживать достаточно однородное температурное поле в оформляющей полости на стадиях ее заполнения и уплотнения во всем объеме изделия – в процессе стадии выдержки на отверждение (в пресс-формах перерабатывают реактопласты при температурах от 130 до 180–190°C – в основном в зависимости от химических особенностей олигомерных связующих).

Давление, которое передается на прессуемый материал, расходуется на уплотнение дозы его в полости формы или специальной загрузочной камере (а когда эта доза – таблетка, то на ее раздавливание); преодоление сопротивления растекания расплава по полости формы или загрузочной камеры и полости формы; обеспечение необходимой степени уплотнения в полностью заполненной полости, с которой удалены летучие пары влаги. На стадии выдержки на отверждение давление должно быть максимально возможным. В зависимости от вида пресс-материала, метода прессования, температурных параметров давление прессования реактопластов в пресс-формах может быть от 15 до 200 МПа; в пресс-формах прямого прессования пресс-порошков – 15–20 МПа; тоже самое для волоконитов – 40–70 МПа; в пресс-формах для литьевого прессования – 150–200 МПа, поскольку в значительной степени давление затрачивается на преодоление сопротивления течению расплава в литниковых каналах.

Временные параметры процесса прессования, которые должны быть обеспечены нормальной работой пресс-формы, определяют на основании: технологических свойств пресс-материала (удельная теплоемкость, коэффициент температуропроводности, плотность); температур размягчения, предыдущего нагрева материала, интенсивного отверждения расплава, температуры стенки пресс-формы; конфигурации и толщины стенки прессованного изделия.

Время стадии заполнения полости пресс-формы и уплотнения в ней расплава аналитически оценить сложно (много переменных факторов – материальных, технологических и конструктивных); в большинстве случаев оно составляет 3–5 с.

Время выдержки под действием давления, на протяжении которого расплав продолжает нагреваться от стенок пресс-формы до температуры интенсивного отверждения массы, упрощенно оценивается произведением «условного» времени отверждения каждого миллиметра толщины изделия и половины всей толщины, когда осуществляется двухсторонняя передача тепла от стенок к материалу. Это «условное» время определяют экспериментально, его можно корректировать по выводам пластометрических испытаний материалов. Все временные параметры зависят от свойственной конкретному пресс-материалу продолжительности вязкотекучего состояния.

Выбор метода прессования реактопластов и соответствующего типа пресс-формы зависит в одинаковой степени от прессуемого

материала и конструкции изделия. Последняя влияет на степень сложности конструкции пресс-форм, на характер и количество плоскостей ее разъема (плоскостей, на которых пресс-форма раскрывается для удаления с полости отпрессованного изделия). Сложность изготовления, использование в конструкции металлической арматуры, наличие поднутрений тоже влияет на характер размещения и количество плоскостей разъема форм.

Переработка реактопластов в обогреваемых пресс-формах на гидравлических прессах может осуществляться способами прямого и литьевого прессования.

При прямом прессовании пресс-масса загружается в матрицу пресс-формы и попадает под действие давления и нагревания, причем давление на протяжении всего времени прессования передается непосредственно на изделие, которое прессуется (рис. 4.67).

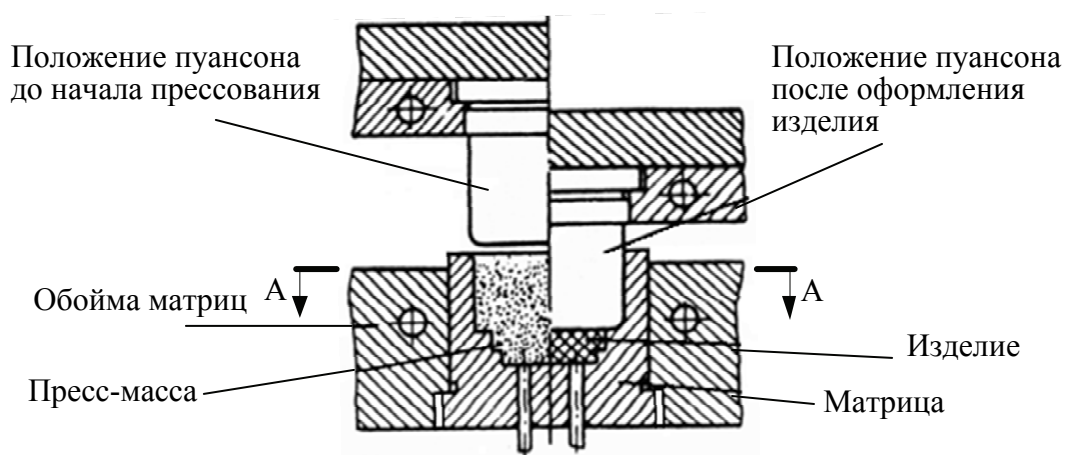


Рис. 4.67. Пресс-форма прямого прессования

При литьевом прессовании материал загружается в специальную камеру и под действием давления и нагревания перетекает через литниковую систему в оформляющее гнездо формы.

Различают два варианта литьевого прессования: в пресс-формах с верхней загрузочной камерой (рис. 4.68) и в пресс-формах с нижней загрузочной камерой (рис. 4.69).

Литьевое прессование в пресс-формах с нижней загрузочной камерой является предпочтительным из-за меньшего количества плоскостей разъема пресс-формы, а также из-за удобства извлечения литниковых отходов.

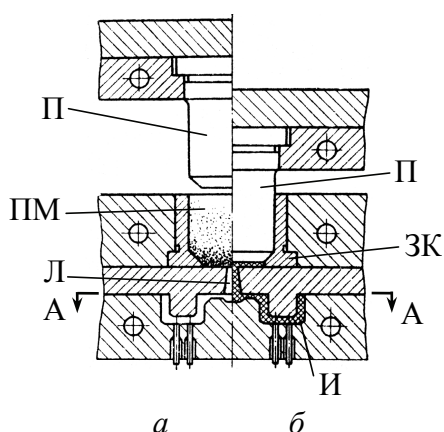


Рис. 4.68. Пресс-форма с верхней загрузочной камерой до начала прессования (а) и после оформления изделия (б): П – пуансон; ПМ – пресс-масса; Л – литник; ЗК – загрузочная камера; И – изделие

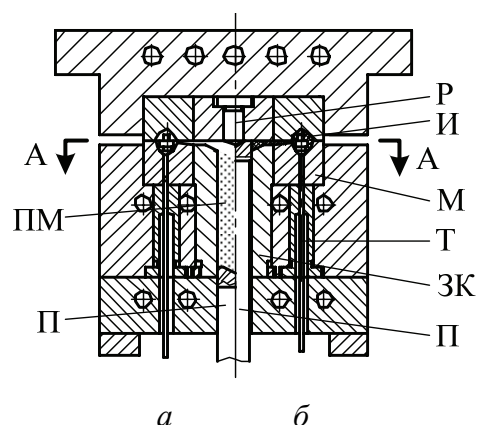


Рис. 4.69. Пресс-форма с нижней загрузочной камерой до начала прессования (а) и после оформления изделия (б): П – пуансон; ПМ – пресс-масса; Р – рассекатель; И – изделие; М – матрица; Т – толкатель; ЗК – загрузочная камера

Применение пресс-форм с нижней загрузочной камерой требует наличия прессов с двумя гидравлическими цилиндрами, к тому же усилие нижнего цилиндра должно быть достаточным для продавливания пресс-материала в оформляющее гнездо пресс-формы, а усилие верхнего цилиндра для прижатия пресс-формы в момент прессования должно превышать давление, которое развивается пластмассой в оформляющем гнезде и в литниковой системе.

Несмотря на преимущества способа прямого прессования (простая конструкция пресс-форм, более высокая механическая прочность изделий и т. д.), ему свойственны и некоторые недостатки:

- а) возможность повреждения тонких и малопрочных формообразующих деталей пресс-формы или арматуры изделий из-за заполнения пресс-массой оформляющего гнезда пресс-формы до того, как вся масса прогреется и приобретет достаточную пластичность;
- б) образование облоя в плоскости разъема пресс-формы.

К особенностям литьевого прессования относят:

- возможность изготовления изделий с недостаточно прочной, сквозной и боковой арматурой, а также изделий с глубокими отверстиями малого диаметра (отверстия навывлет с глубиной до десяти

диаметров и глухие отверстия – до трех диаметров); это связано с тем, что пресс-масса перетекает в пресс-форму в пластично-вязком состоянии и не вызывает значительных деформаций в формообразующих деталях пресс-формы и арматуры;

- отсутствие облоя в изделиях плоскости разъема пресс-формы в результате того, что оформляющее гнездо пресс-формы закрывается до поступления в нее пресс-массы;

- пониженная механическая прочность и анизотропность структуры изделий в результате ориентации частиц наполнителя перпендикулярна направлению литья;

- применение пресс-массы с высокой текучестью (более 100 мм);

- увеличенный расход пресс-массы за счет литников и пресс-отходов в загрузочной камере;

- большая трудоемкость изготовления пресс-форм в отличие от прямого прессования.

Исходя из вышеперечисленных особенностей прямого литьевого прессования, литьевым прессованием нужно изготавливать сложные изделия с поднутрениями, боковыми и глубокими вертикальными отверстиями, а также армированные изделия мелких и средних размеров.

Пресс-формы для прессования изделий из реактопластов делятся на группы, которые имеют принципиальные отличия (рис. 4.70):

- а) пресс-формы прямого прессования;
- б) пресс-формы литьевого прессования с верхней или нижней загрузочной камерой.

Указанные выше группы пресс-форм классифицируются на основании следующих основных признаков:

- а) связи с прессом;
- б) направления разъема;
- в) конструктивного исполнения оформляющих гнезд пресс-форм для прямого прессования;
- г) количества оформляющих гнезд.

По связи с прессом пресс-формы делятся на съемные, полустационарные и стационарные.

Съемные пресс-формы (рис. 4.71) не крепятся на прессе и не имеют собственного обогрева; после оформления изделия они снимаются с прессы для разъема извлечения изделия и загрузки пресс-массой. Используются в мелкосерийном производстве.

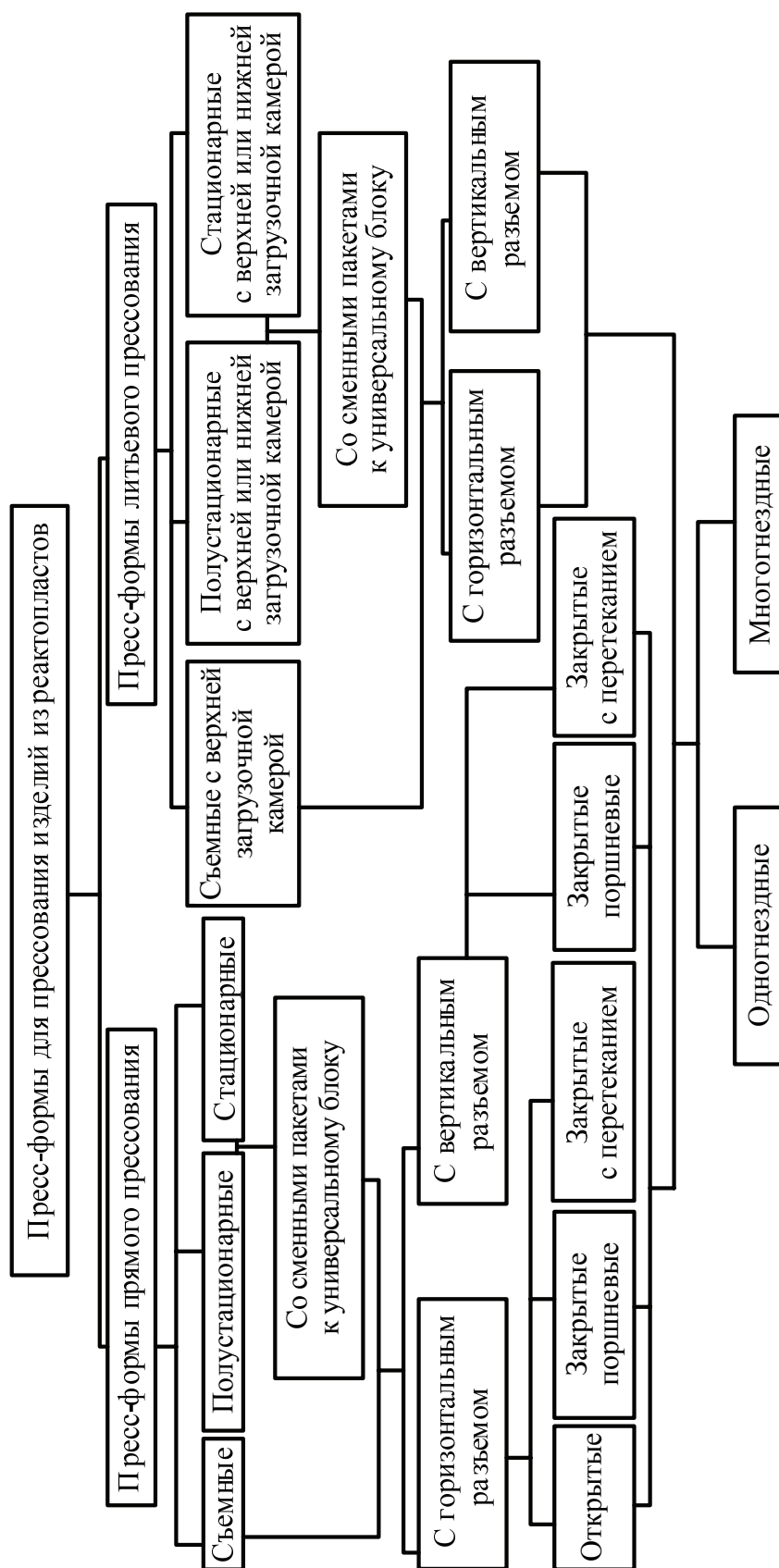


Рис. 4.70. Классификация пресс-форм для прессования изделий из реактопластов

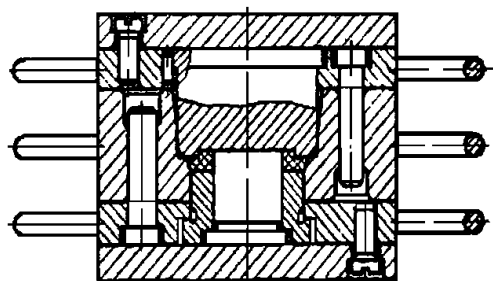


Рис. 4.71. Съемные
пресс-формы

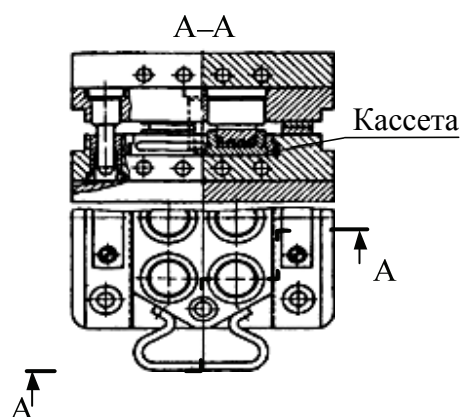


Рис. 4.72. Полустационарные
пресс-формы

Полустационарные пресс-формы (рис. 4.72) крепятся на прессе, имеют собственный обогрев и обеспечены вынимающейся кассетой с закрепленными на ней пуансонами, матрицами или знаками.

Разгрузка (а в некоторых случаях и загрузка) кассет осуществляется вне прессы. Полустационарные пресс-формы применяют для производства резьбовых и армированных изделий.

Стационарные пресс-формы крепятся на прессе и имеют собственный обогрев (омический или индукционный). Весь цикл производства изделий осуществляется непосредственно на прессе. Такие пресс-формы применяют в массовых и крупносерийных производствах.

В направлении к плоскости разъема формообразующих деталей пресс-формы делятся на следующие:

- а) с горизонтальным разъемом, в которых формообразующие детали раскрываются по плоскости в направлении к ходу плунжера прессы.
- б) матрицами, которые имеют вертикальный разъем (например, клиновые рис. 4.73), в которых матрица разнимается по плоскости перпендикулярно направлению хода плунжера прессы.

По конструктивному исполнению оформляющего гнезда пресс-формы прямого прессования делятся на следующие типы:

- открытые (рис. 4.74), оформляющее гнездо в которых является одновременно и загрузочной полостью. Применяются для изготовления изделий больших габаритов при сравнительно тонких стенках, когда пресс-масса полностью смещается в оформляющем гнезде матрицы. К недостаткам пресс-форм данного типа относится повышенный процент брака изделий из-за недопрессовывания, а также повышенный расход пресс-массы на единицу изделия. Преимущества таких пресс-форм заключается в их простой конструкции;

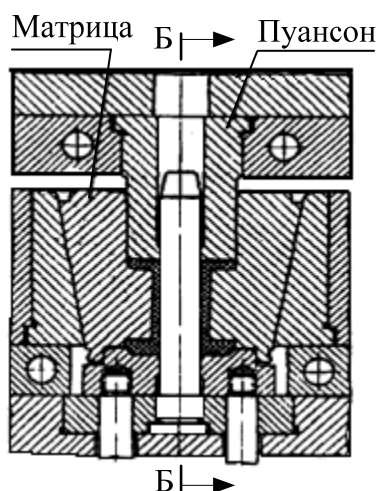


Рис. 4.73. Пресс-форма с клиновыми матрицами

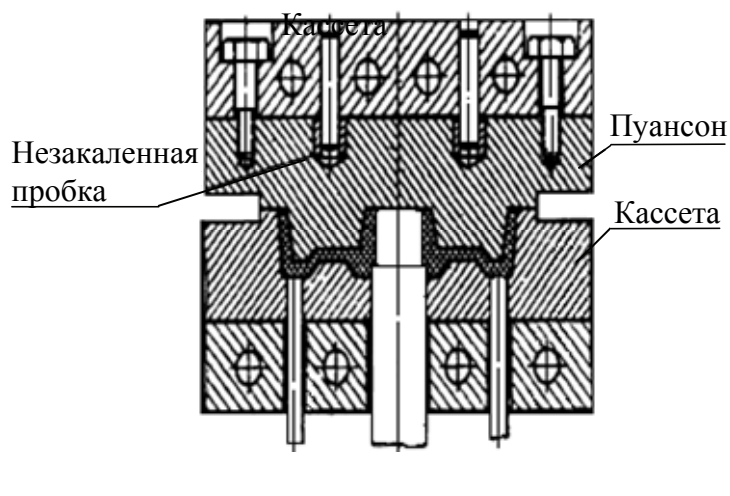


Рис. 4.74. Открытая пресс-форма

- закрытые поршневые (рис. 4.75), в них оформляющее гнездо является непосредственным продолжением загрузочной полости; применяются для прессования волокнистых материалов, а также материалов с малой текучестью.

- закрытые с перетеканием, имеющие отдавливающий кант, расположенный на стыке пуансона и матрицы (рис. 4.76); наиболее распространенный тип пресс-форм.

По количеству оформляющих гнезд пресс-формы делятся на одногнездные и многогнездные. Применение многогнездных пресс-форм повышает производительность процесса прессования и снижает себестоимость прессовых изделий.

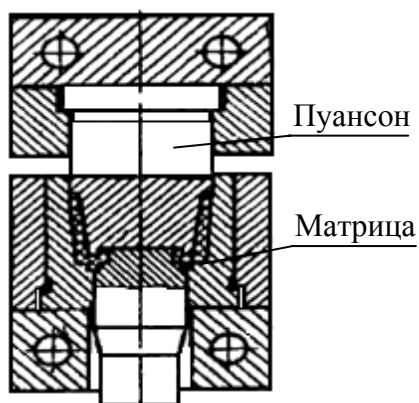


Рис. 4.75. Пресс-форма закрытая поршневая

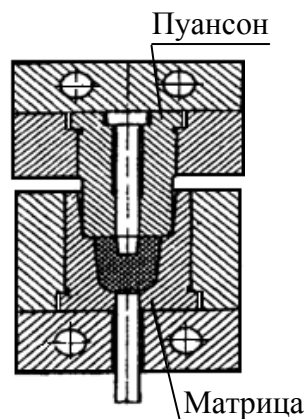


Рис. 4.76. Пресс-форма закрытая с перетеканием

4.2.2. Взаимодействие формы с прессом

Пресс-форма работает совместно с гидравлическим прессом, т. е. с машиной периодического действия. Закономерность такой циклической работы отражает крайне неплотная циклограмма. Время цикла включает: две паузы, связанные с остановкой ползуна прессы в верхнем (пресс-форма разомкнута, загрузочная камера с оформляющей полостью заполняется дозой материала) и в нижнем положениях (пресс-форма сомкнута, происходит отверждение массы, формование изделия); холостой ход ползуна вверх и вниз и собственно рабочий ход исполнительного механизма (плунжера), когда совершается непосредственное воздействие на материал, который обрабатывается. Система удаления, выталкивания изделия из пресс-формы начинает действовать после того, как прошла определенная часть времени холостого хода вверх (пресс-форма полностью раскрытая, пуансон выведен из зоны формования). Механизм (манипулятор) съема изделий свой рабочий ход может начать во время паузы системы выталкивания, после ее рабочего хода. Механизм (манипулятор) загрузки материала, установки знаков и арматуры (когда потребуется) может начать работу после полного освобождения оформляющего гнезда. Таким является кинематическое взаимодействие пресс-формы с прессом.

Схема геометрического взаимодействия представлена на рис. 4.77.

К паспортным техническим характеристикам относят максимальный ход подвижной плиты S и плунжера цилиндра выталкивания L , максимальное расстояние между плитами H , а также номинальное усилие прессы F_n . С ними должны быть согласованы минимально необходимый ход разъема формы s , ход системы выталкивания l , высота формы в сомкнутом положении h и технологично обоснованная величина усилия прессования $F_{пр}$.

Пресс может осуществить полное смыкание формы и развить в ней необходимое давление, когда будут сохраняться соотношения

$$H_{\min} < h; \quad H_{\min} = H - S. \quad (4.47)$$

Фактический ход подвижной плиты при данной высоте формы

$$S_{\phi} = H - h. \quad (4.48)$$

Минимально необходимый ход s для нормального извлечения изделия из пресс-формы

$$s = 2h_n + q, \quad (4.49)$$

где q – дополнительное расстояние для извлечения изделия.

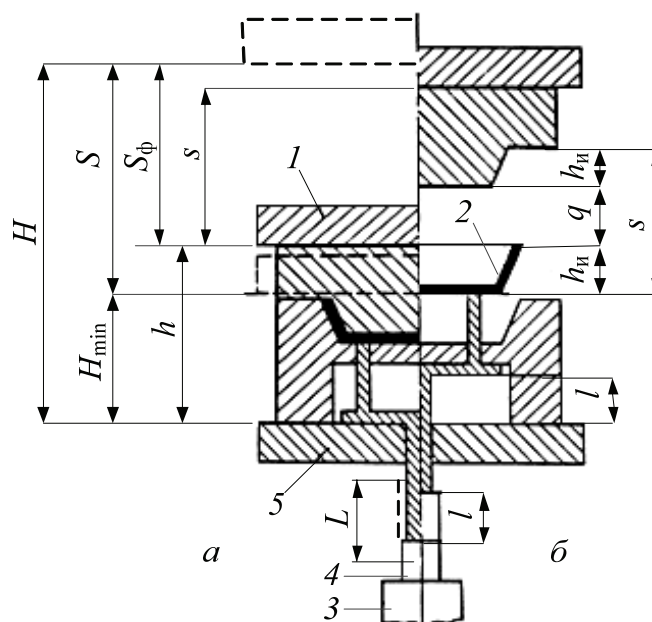


Рис. 4.77. Схема геометрического взаимодействия пресс-формы с прессом:

а – сомкнутые полуформы; *б* – разомкнутые полуформы;
1 – подвижная плита пресса; *2* – изделие; *3* – гидроцилиндр блока
 выталкивания; *4* – плунжер; *5* – неподвижная плита пресса
 (штриховыми линиями показаны крайние положения
 плиты *1* и плунжера *4*)

Таким образом,

$$S_{\phi} > s, \quad \text{или} \quad H - h \geq 2h_n + q. \quad (4.50)$$

Правильный выбор типового размера крепежных болтов определяется шириной Т-образных пазов на плитах пресса. Размещение проушин для крепления к прессу определяется расположением пазов на столе и ползуне пресса.

4.2.3. Система формообразующих деталей пресс-форм

К формообразующим деталям пресс-форм относятся те, которые участвуют в оформлении пластмассового изделия (т. е. соприкасаются с пластмассой). К ним относятся матрицы, пуансоны, формующие знаки, гладкие подвижные и неподвижные, формующие знаки резьбовые, резьбовые кольца.

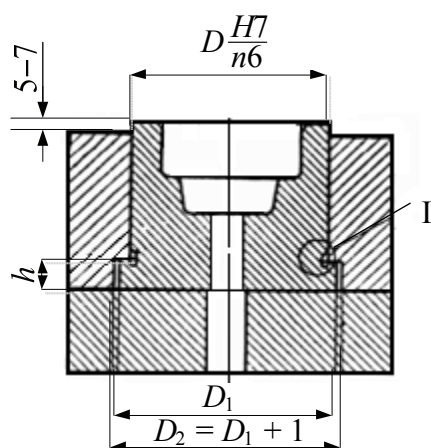


Рис. 4.78. Конструкция сплошной матрицы

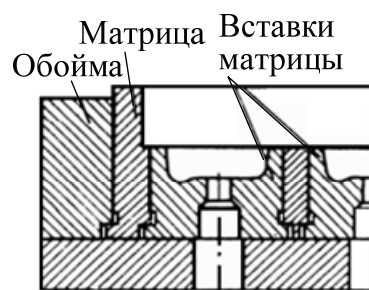
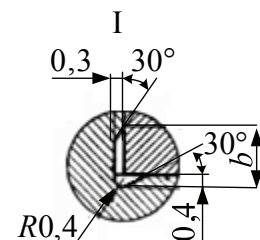


Рис. 4.79. Конструкция составной матрицы

Матрицы, в которых образуется, как правило, оформляющая полость, – наиболее ответственные детали пресс-формы. В большинстве пресс-форм матрица является сочетанием двух элементов – непосредственно матрицы и загрузочной камеры. Конструктивно они могут быть сделаны как одно целое или составными, причем в последнем случае загрузочная камера и матрица являются неразъемной конструкцией; изготовление цельной матрицы не всегда технологически обосновано, и для облегчения обработки иногда приходится делать матрицу сложной; внешние очертания матрицы обычно имеют цилиндрическую или прямоугольную форму; выполнять матрицу другой формы нецелесообразно, потому что это увеличивает трудоемкость их изготовления. Конструкция сплошной матрицы приведена на рис. 4.78, составной – на рис. 4.79.

Пуансоны применяются для передачи давления на пресс-массу. В пресс-формах прямого прессования пуансоны могут оформлять наружный и внутренний контур изделия (рис. 4.80). Пуансоны, как и матрицы, могут выполняться сборными.

Круглые пуансоны, которые имеют на рабочей части выступы, пазы и т. д., должны фиксироваться от проворачивания шпонками или штифтами.

Пуансоны больших габаритов предполагается закреплять винтами и фиксировать штифтами, запрессованными в незакаленные пробки.

Правильное соединение пуансона с загрузочной камерой или с матрицей достигается при должном зазоре между ними: величина

его зависит от диаметра или сечения пуансона, но его минимальное значение составляет 0,02–0,03 мм на сторону; этому требованию соответствуют посадки $H9/f7$.

Для уменьшения трения верхняя часть загрузочной камеры изготавливается с уклоном 3–5° на сторону; высота уклона составляет половину загрузочной камеры.

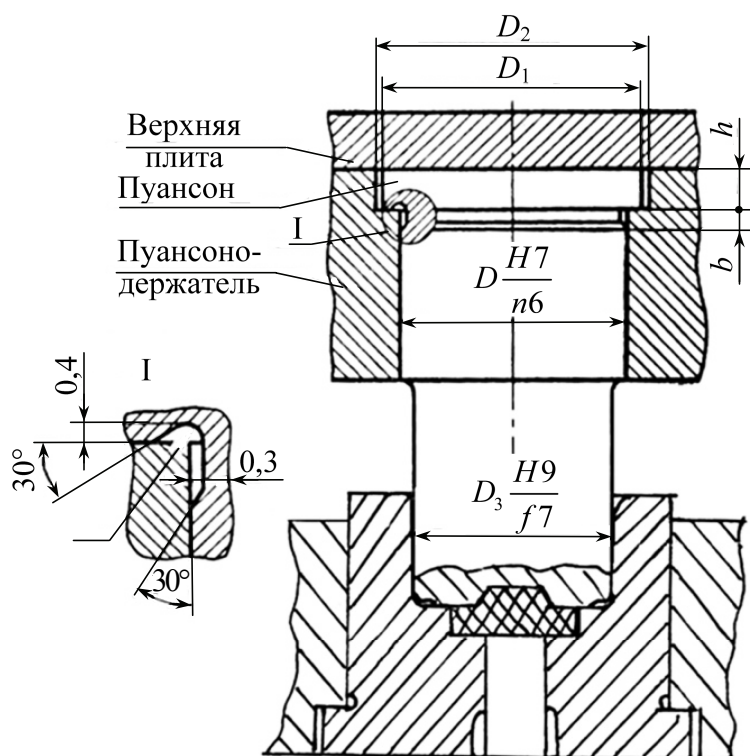


Рис. 4.80. Конструкция пуансона

Поскольку с увеличением площади проекции загрузочных камер в значительной степени увеличивается и необходимое усилие прессования, а также расход материала, размер камеры должен быть таким, чтобы обеспечивать полезную площадь прессования не менее 65–70% всей площади загрузочной камеры.

По конструктивному типу оформляющие гнезда пресс-формы делятся (рис. 4.81) на открытые (в которых полость – гнездо – является одновременно и загрузочной камерой), закрытые (а) (в которых полость – гнездо – как бы продолжает загрузочную камеру: на плане их размеры совпадают), полузакрытые или с перетеканием (б) (в которых есть специальный отпрессованный кант на стыке пуансона и матрицы).

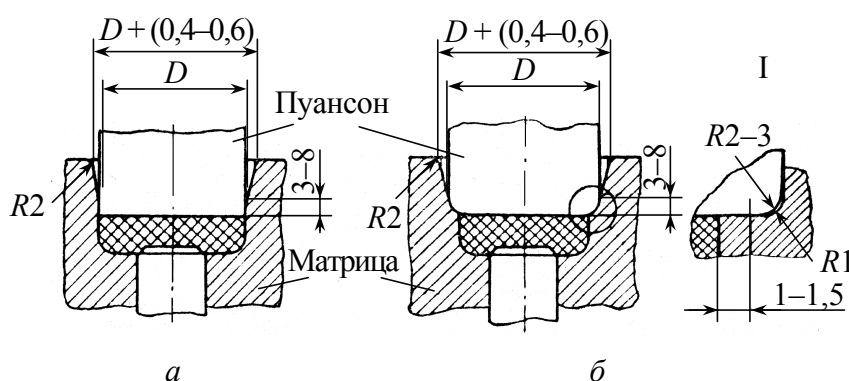


Рис. 4.81. Закрытые (а) и с перетеканием (б) оформляющие гнезда пресс-форм

Формующие знаки (рис. 4.82) образуют в прессованном изделии гладкие отверстия – «окна» (квадратные, шестигранные и т. д.). Они могут быть неподвижными (рис 4.82, а, б) и подвижными, в последнем случае это знаки-выталкиватели (рис. 4.82, в).

Вставки (вкладыши) образуют разнообразные углубления и отверстия асимметричной конфигурации.

Как при неподвижном, так и при подвижном соединении формующих знаков и вкладышей высота посадочной части отверстия детали, в которой проводится установка знаков, должна быть меньше, чем общая высота. В неподвижных соединениях это делается с целью упрощения изделия и доведения после термообработки гладких круглых и фасонных отверстий в матрице и пуансоне. В подвижных соединениях, кроме того, наименьшая высота посадочной части необходима для уменьшения площади трения соединенных элементов.

Независимо от конфигурации рабочей части формующего знака, хвостовика или стержня, утолщенную часть или бурт для крепления делают круглой формы, что облегчает их изготовление.

В подвижных формующих знаках диаметр утолщенной части, которая вставляется в держатель, должен быть на 0,5–1 мм больше, чем диаметр рабочей части. Посадка в соединении знак – держатель в стационарных пресс-формах, которые имеют постоянную связь матрицы с формующими знаками, делается подвижной, что компенсирует возможную неточность размещения отверстий в матрице и держателе.

Формование отверстий разнообразных сечений, расположенных перпендикулярно направлению прессования в стационарных пресс-формах, осуществляется *гладкими* знаками, которые автоматически перемещаются при помощи наклонных колонок или клиньев (рис. 4.83).

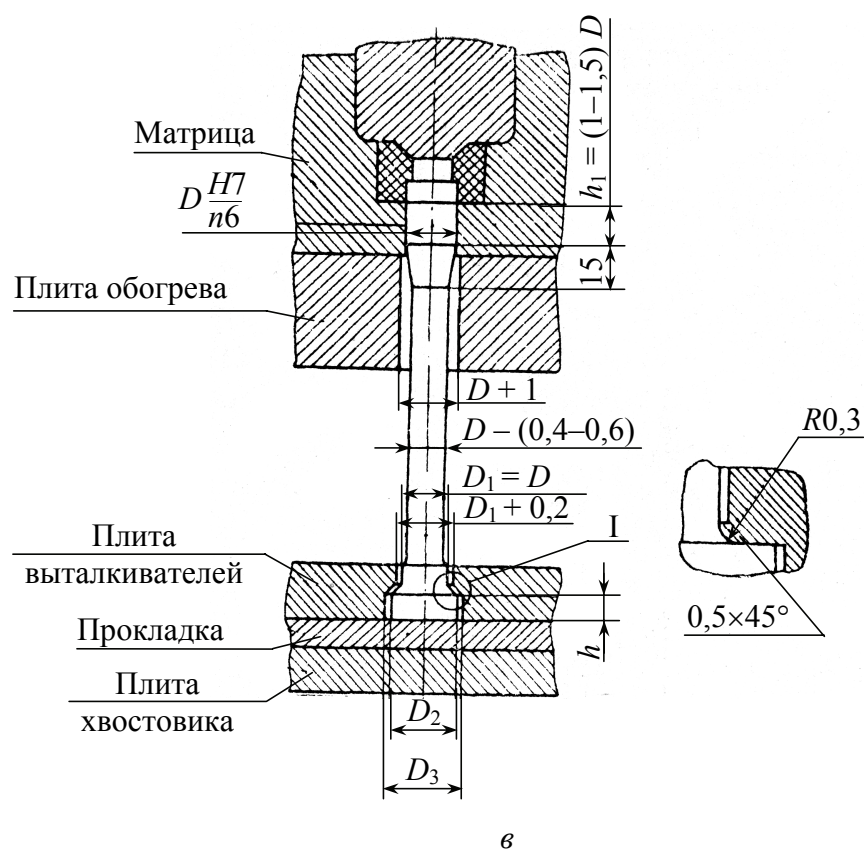
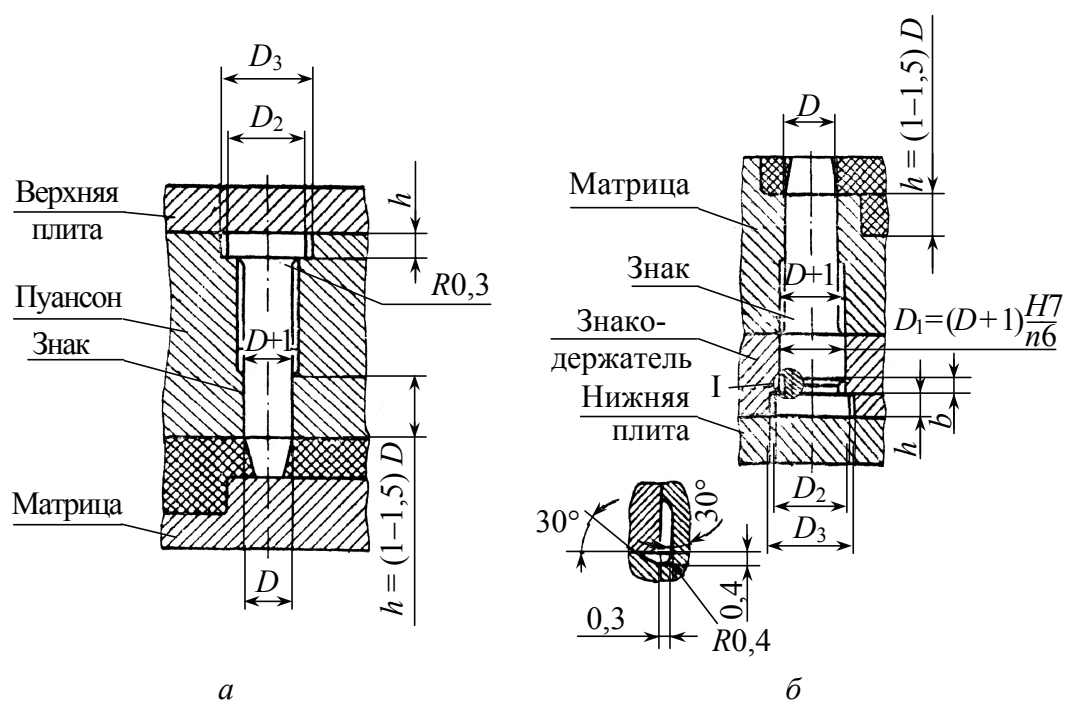


Рис. 4.82. Конструкция неподвижных (а, б) и подвижных (в) формующих знаков

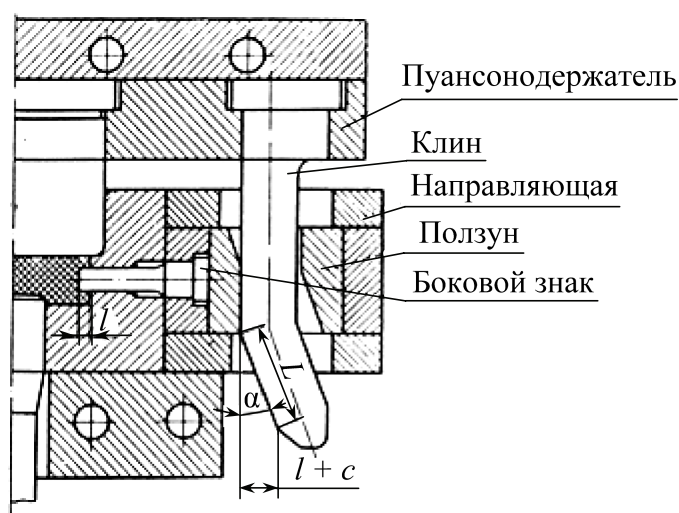


Рис. 4.83. Конструкция наклонных колонок (клиньев)

Рабочая длина клина L определяется по зависимости

$$L = (l + c) / \sin \alpha, \quad (4.51)$$

где l – ход бокового знака, мм; c – дополнительный ход бокового знака, мм; α – угол наклона клина ($15\text{--}30^\circ$).

Резьбовые формующие знаки могут непосредственно оформлять резьбу (внутреннюю или внешнюю) в изделиях, или с их помощью запрессовывается в изделия металлическая арматура (знак после извлечения изделия выкручивается).

Резьбовые знаки-стержни (для внутренней резьбы) и знаки-кольца (для наружной резьбы) могут быть верхними и нижними. Кольца, как правило, устанавливаются в нижней части пресс-формы (рис. 4.84).

При установке в нижней части пресс-формы резьбовые знаки имеют цилиндрический стержень, который входит в соответствующее отверстие в матрице. В зависимости от конструкции пресс-формы эти знаки могут иметь специальный кант для фиксации и удержания в рабочем положении. Иногда они торцом могут опереться на нижнюю плиту пресс-формы. Верхние резьбовые знаки в большей части выполняются с кантом, который удерживает их в установленном положении относительно плоскости пуансона и перекрывает отверстие под хвостовик, что предотвращает затекание пресс-материала в посадочное отверстие.

Резьбовые знаки с цанговым креплением чрезвычайно эффективны в эксплуатации, они могут использоваться непосредственно для формования резьбы или запрессовки в изделия резьбовой арматуры

с диаметром от 1,7 до 30–36 мм. Несмотря на необходимость дополнительного изготовления цанг, этот тип крепления упрощает производство резьбовых знаков, а также обеспечивает более длительную эксплуатацию пресс-формы.

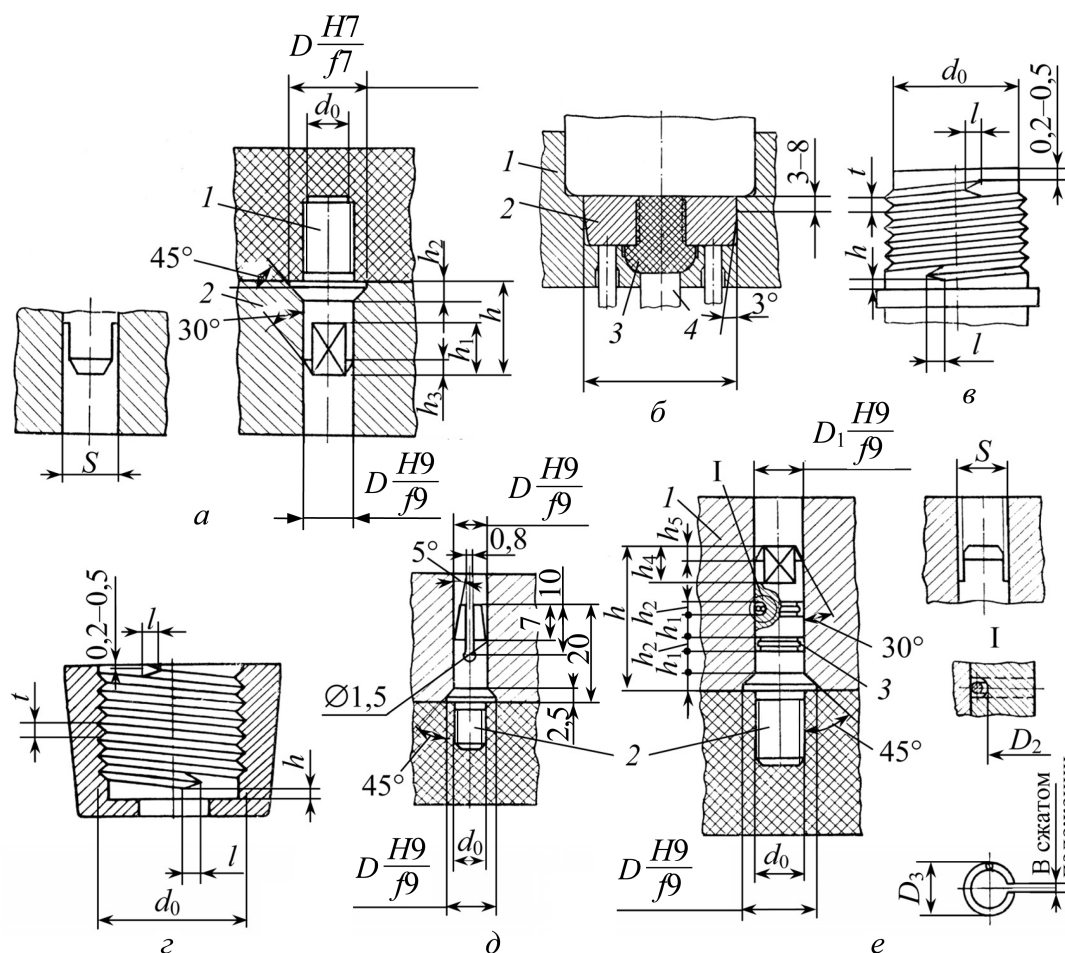


Рис. 4.84. Резьбовые знаки-стержни и знаки-кольца:

а – знак, устанавливаемый в нижней половине пресс-формы (*1* – знак; *2* – матрица);
б – конструкция резьбового кольца (*1* – матрица; *2* – резьбовое кольцо; *3* – изделие; *4* – выталкиватель); *в* – параметры резьбы для знака; *г* – параметры резьбы для кольца;
д – устанавливаемый в верхней половине пресс-формы для оформления резьбы до 10 мм; *е* – то же для оформления резьбы свыше 10 мм
(*1* – пуансон; *2* – знак; *3* – пружинное кольцо)

4.2.4. Расчет деталей пресс-форм

Прочностные расчеты определяются для нагруженных деталей пресс-форм. Объекты расчета, нагрузка, параметры, которые необходимо рассчитать, и расчетная схема приведены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

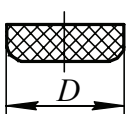
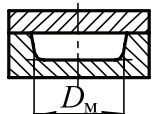
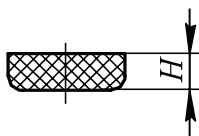
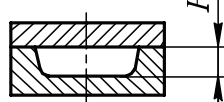
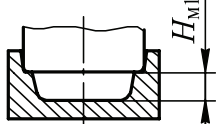
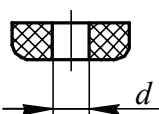
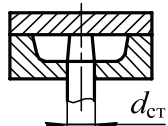
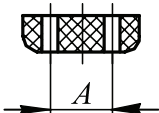
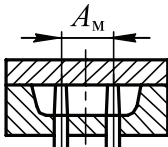
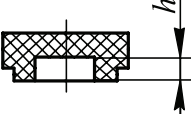
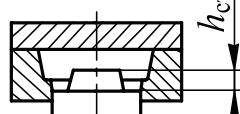
Расчет деталей пресс-форм по нагрузке

Деталь	Нагрузка	Возможные параметры, которые необходимо рассчитать	Условная расчетная схема
Матрица круглая	Внутреннее давление	Тангенциальное и радиальное напряжение на внутренней поверхности (согласно формуле Гадолина – Ляма), эквивалентное напряжение (согласно четвертой теории прочности); допустимая толщина стенки матрицы	Толстостенный цилиндр, нагруженный равномерно распределенным давлением на внутренней поверхности
Матрица прямоугольная	Внутреннее давление	Напряжение изгиба в середине длинного бока, допустимая толщина стенки матрицы	Балка с заделанными концами при воздействии равномерно распределенной нагрузки
Обойма матрицы	Растяжение из-за деформации нагруженных внутренним давлением матриц, запрессованных в обойме	Напряжение (такое же, как и для круглой или прямоугольной матрицы), деформация стенок матрицы, величина напряжения в соединении	Закрепленный толстостенный цилиндр, нагруженный равномерно распределенным давлением на внутренней поверхности
Нижняя нагреваемая плита	Усилие прессования, которое действует через пуансон и прессуемый материал на плиту до смыкания опорных плит	Напряжение изгиба, прогиб плиты	Балка, которая опирается на концы и нагруженная посередине
Опорная планка	Усилие прессования	Напряжения сжатия по толщине; по площади контакта	
Выталкиватели	Усилие выталкивающих гидравлических цилиндров; усилие обратного хода плиты машины, которое используется для выталкивателей	Расчетные усилия на выталкиватели, допустимая величина площади поперечного сечения	Консольная балка
Крепежные болты (в формах, установленных на горизонтальных машинах)	Поперечная нагрузка, которая вызывает сдвиг полуформ	Расчет затяжки болтов, минимальное количество болтов	Одноосный растянутый стержень

Расчет исполняющих размеров гладких формообразующих деталей необходимо выполнить в соответствии с табл. 4.13.

Таблица 4.13

Расчет исполняющих размеров

Наименование размеров		Расчетные формулы
изделия	формообразующих деталей	
<p>Охватываемые диаметральные</p> 	<p>Охватывающие</p> 	$D_M = D_{\max} + D_{\max} \cdot 0,01S_{\max} - T_{\text{и}} \quad (1)$
<p>Охватываемые высотные</p> 	<p>Охватывающие высотные, не зависящие от толщины облоя</p> 	$H_M = H_{\max} + H_{\max} \cdot 0,01S_{\text{cp}} - \frac{T_{\text{и}} + T_{\text{ф}}}{2} \quad (2)$
	<p>Зависящие от толщины облоя (в пресс-формах прямого прессования)</p> 	$H_{M1} = H_{\max} + H_{\max} \cdot 0,01S_{\text{cp}} - c - \frac{T_{\text{и}} + T_{\text{ф}}}{2} \quad (3)$
<p>Охватывающие диаметральные</p> 	<p>Охватываемые</p> 	$d_{\text{CT}} = d_{\min} + d_{\min} \cdot 0,01S_{\min} + T_{\text{и}} \quad (4)$
<p>Межосевые</p> 		$A_M = A + 0,01AS_{\text{cp}} \quad (5)$
<p>Прочие, не относящиеся к охватываемым, охватывающим и межосевым: глубина паза, высота уступа и т. п.</p> 		 $h_{\text{CT}} = h_{\min} + h_{\min} \cdot 0,01S_{\text{cp}} + \frac{T_{\text{и}} + T_{\text{ф}}}{2} \quad (6)$

Буквенные обозначения в формулах (1)–(6), табл. 4.13):

D_{\max} , H_{\max} – наибольшие предельные размеры изделия, мм; d_{\min} , h_{\min} – наименьшие предельные размеры изделия, мм; S_{\max} , S_{\min} , $S_{\text{ср}}$ – соответственно наибольшая, наименьшая и средняя усадки пластмассы, %; $T_{\text{и}}$ – допуск размера изделия, мм; c – поправочная величина, учитывающая толщину облоя в пресс-формах прямого прессования, мм (см. табл. 4.14); $T_{\text{ф}}$ – допуск размера формообразующей детали, мм (см. табл. 4.15).

Поправочную величину c , учитывающую толщину облоя в пресс-формах прямого прессования, следует принимать по табл. 4.14

Таблица 4.14

Поправочная величина, учитывающая толщину облоя

Типа наполнителя пресс-массы	Поправочная величина c , мм
Древесный	0,10
Минеральный	0,20
Волокнистый	0,30

Предельные отклонения размеров формообразующих деталей следует назначать в соответствии с полями допусков, приведенными в табл. 4.15

Таблица 4.15

Поля допусков размеров формообразующих деталей

Точность размеров формуемых изделий (калитет)	Поля допусков размеров формообразующих деталей		
	охватывающих	охватываемых и прочих	межосевых*
10–11	$H7$	$h6$	$\pm \frac{T_{\text{и}}}{10}$
12–14	$H9$	$h9$	
15–16	$H11$	$h11$	
17	$H12$	$h12$	

* Предельные отклонения межосевых размеров должны назначаться не менее $\pm 0,02$ мм.

Уклоны поверхностей формообразующих деталей, предусмотренные для съема изделий, должны располагаться в пределах поля допуска размера изделия. Величины уклонов следует назначать не менее приведенных в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Уклоны поверхностей формообразующих деталей

Наименование пластмассы	Уклоны α для поверхностей формообразующих деталей	
	внутренних	наружных
Реактопласты и термопласты, кроме стекловолокнистого прессматериала и полиэтилена	0°10'	0°20'
Стекловолокнистый прессматериал типа АГ-4	0°15'	0°30'
Полиэтилен	0°30'	1°

Уклоны должны быть направлены в сторону увеличения охватываемых размеров и в сторону уменьшения охватываемых размеров формообразующих деталей.

Исполнительные размеры гладких формообразующих деталей, рассчитанные по формулам табл. 4.13, следует округлять с кратностью, указанной в табл. 4.17, причем охватывающие размеры нужно округлять в сторону увеличения, а охватываемые, межосевые и прочие – в сторону уменьшения.

Таблица 4.17

Кратность округления размеров гладких формообразующих деталей

Номинальные размеры	Кратность округления					
	Точность размеров формообразующих деталей (кавалитеты)					
	6–7	9	11–12			
От 1 до 3	0,005	0,010	0,020			
Св. 3 до 6			0,050			
Св. 6 до 10						
Св.10 до 18						
Св. 18 до 30	0,010	0,020	0,100			
Св. 30 до 50						
Св. 50 до 80						
Св. 80 до 120						
Св. 120 до 180		0,050				
Св. 180 до 260						
Св. 260 до 360	—					
Св. 360 до 500						

Достигаемая точность размеров деталей из пластмасс, которые образуются прессованием и литьем под давлением, определяется по данным табл. 4.18.

Таблица 4.18

**Достижимая точность размеров деталей из пластмасс, получаемых
прессованием и литьем под давлением**

Наименование размеров изделий	Расчетные формулы
Охватываемые, кроме высотных Охватывающие	$T_{\text{и}} \geq T_s + T_{\text{ф}} + 2T_y,$ где $T_s = D \cdot 0,01(S_{\text{max}} - S_{\text{min}});$ (1) $T_y = H \operatorname{tg} \alpha$
Охватываемые высотные, которые не зависят от толщины облоя Межосевые Прочие, не относящиеся к охватываемым и охватывающим	$T_{\text{и}} \geq T_s + T_{\text{ф}} \quad (2)$
Охватываемые высотные, которые зависят от толщины облоя (в прсс-формах прямого прессования)	$T_{\text{и}} \geq T_s + T_{\text{ф}} + T_c \quad (3)$

Буквенные обозначения в формулах (1)–(3) табл. 4.18:

$T_{\text{и}}$ – допуск размера изделия, мм; T_s – часть допуска размера изделия, учитывающая колебания усадки пластмассы, мм; D – номинальный размер изделия, мм; $S_{\text{max}}, S_{\text{min}}$ – наибольшая и наименьшая усадки пластмассы, %; $T_{\text{ф}}$ – допуск размера формообразующей детали, мм; T_y – часть допуска размера изделия, учитывающая уклон поверхности формообразующей детали, мм; H – высота элемента изделия, оформляемого с уклоном, мм; α – уклон поверхности формообразующей детали (см. табл. 4.16); T_c – часть допуска, учитывающая колебание толщины облоя, которую следует принимать равной 0,1 мм.

Пример расчета исполнительных размеров гладких формообразующих деталей. Рассчитаем исполнительные размеры гладких

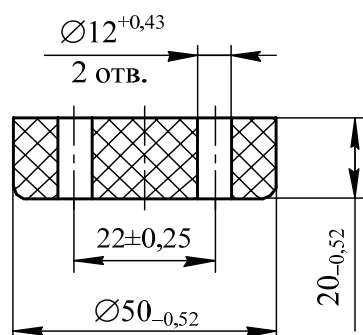


Рис. 4.85. Пример изделия

формообразующих деталей для изделия (рис. 4.85) из пластмассы марки 03-010-02, оформленного в пресс-форме прямого прессования. Усадка прессмассы 0,4–0,8%.

Допуски, заданные чертежом, не меньше достижимых допусков, рассчитанных по формулам табл. 4.18.

Исполнительный размер матрицы $D_{\text{м}}$ (рис. 4.86) рассчитывается по формуле

$$D_{\text{м}} = 50 + 50 \cdot 0,01 \cdot 0,8 - 0,62 = 49,78 \text{ мм.}$$

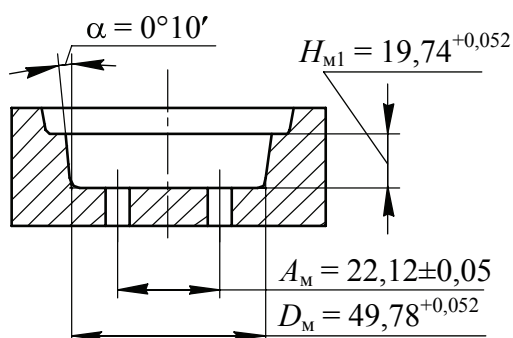


Рис. 4.86. Исполнительные размеры матрицы

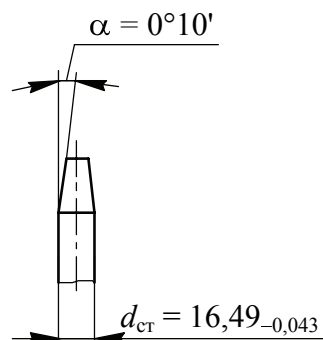


Рис. 4.87. Исполнительные размеры знака

Предельное отклонение размера матрицы принято в соответствии с табл. 4.15. Угол уклона α назначается по табл. 4.16 равным $0^\circ 10'$.

Исполнительный размер матрицы H_{M1} рассчитывается по формуле

$$H_{M1} = 20 + 20 \cdot 0,01 \cdot 0,6 - 0,1 - \frac{0,52 + 0,052}{2} = 19,734 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер матрицы с учетом округления по табл. 4.17 равен 19,74 мм.

Исполнительный размер знака (рис. 4.87) рассчитывается по формуле

$$d_{\text{ст}} = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,4 + 0,43 = 16,494 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер знака с учетом округления равен 16,49 мм.

Исполнительный размер матрицы A_M рассчитывается по формуле

$$A_M = 22 + 22 \cdot 0,01 \cdot 0,6 = 22,132 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер матрицы с учетом округления равен 22,12 мм, предельные отклонения размеров матрицы (рис. 4.86) и стержня (рис. 4.87) – в соответствии с табл. 4.15. Углы уклонов α приняты в соответствии с табл. 4.16.

Расчет исполнительных размеров резьбы резьбоформирующих деталей следует выполнять согласно рис. 4.88, 4.89 и табл. 4.19.

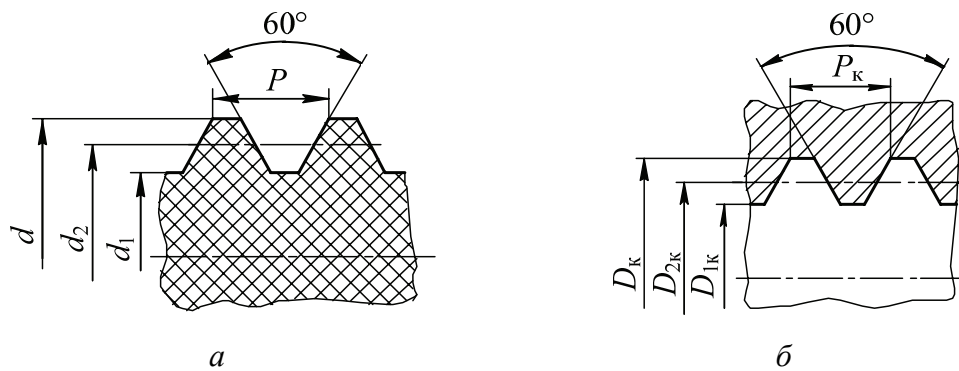


Рис. 4.88. Болт (а) и резьбоформирующее кольцо (б)

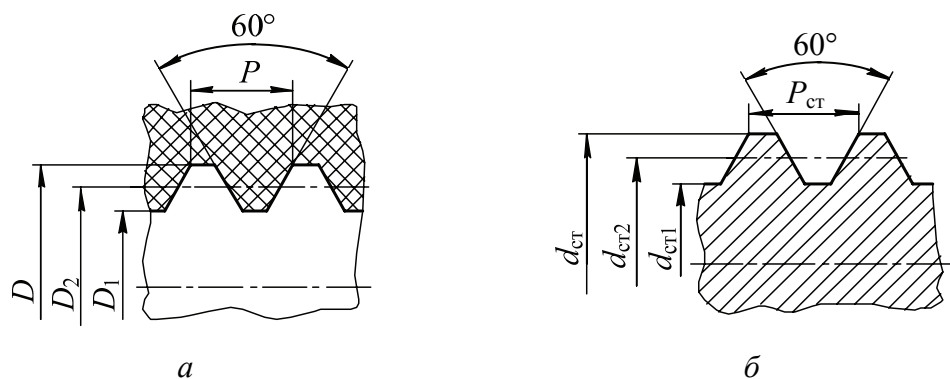


Рис. 4.89. Гайка (а) и резьбоформирующий стержень (б)

Таблица 4.19

Расчет исполнительных размеров резьбы

Наименование размера	Расчетная формула
Резьбоформирующее кольцо	
Диаметр:	
наружный	$D_k = d + d \cdot 0,01S_{\max} - T_d - es$ (1)
средний	$D_{2k} = d_2 + d_2 \cdot 0,01S_{\max} - T_{d2} - es$ (2)
внутренний	$D_{1k} = d_1 + d_1 \cdot 0,01S_{\max} - T_{d2} - es - 0,144P$ (3)
Шаг	$P_k = P(1 + 0,01S_{cp})$ (4)
Резьбоформирующий стержень	
Диаметр:	
наружный	$d_{ст} = D + D \cdot 0,01S_{\min} + T_{D2} + EI$ (5)
средний	$d_{2ст} = D_2 + D_2 \cdot 0,01S_{\min} + T_{D2} + EI$ (6)
внутренний	$d_{1ст} = D_1 + D_1 \cdot 0,01S_{\min} + T_{D1} + EI$ (7)
Шаг	$P_{ст} = P_k = P(1 + 0,01S_{cp})$ (8)

Буквенные обозначения в формулах (1)–(8) табл. 4.19:

d , d_2 и d_1 – соответственно наружный, средний и внутренний номинальный диаметры резьбы болта, мм; S_{\max} , S_{\min} и $S_{\text{ср}}$ – соответственно наибольшая, наименьшая и средняя усадки пластмассы, %; T_d и T_{d2} – допуски наружного и среднего диаметров резьбы болта, мм; es – верхнее отклонение диаметров резьбы болта, мм; P – шаг резьбы, мм; D , D_2 и D_1 – соответственно наружный, средний и внутренний номинальный диаметры резьбы гайки, мм; T_{D2} и T_{D1} – допуски среднего и внутреннего диаметров резьбы гайки, мм; EI – нижнее отклонение диаметров резьбы гайки, мм.

Диаметры резьбы резьбооформляющих деталей, рассчитанные по формулам табл. 4.19, следует округлять в соответствии с требованиями, указанными в табл. 4.20, причем диаметры резьбы кольца нужно округлять в сторону увеличения, а диаметры резьбы стержня – в сторону уменьшения.

Таблица 4.20

Кратная величина округления резьбы

Диаметр резьбы, мм	Степень точности среднего диаметра формуемой резьбы	
	6–7	8–10
До 10	0,005	0,02
Свыше 10 до 50	0,010	
Свыше 50 до 180	0,020	0,05

Предельные отклонения диаметров резьбы резьбооформляющих деталей следует назначать в соответствии с полями допусков, приведенными в табл. 4.21.

Таблица 4.21

Поля допусков размеров резьбооформляющих деталей

Степень точности среднего диаметра формуемой резьбы	Обозначение поля допуска	
	для кольца	для стержня
6–7	$H7$	$h6$
8–10	$H9$	$h9$

Шаг резьбы резьбооформляющих деталей, рассчитанный по формулам (4) и (8), округляется до сотых долей миллиметра.

Предельные отклонения шага резьбы резьбооформляющих деталей следует назначать в соответствии с табл. 4.22.

Предельные отклонения шага относятся к расстоянию между любыми витками резьбы резьбооформляющих деталей.

Таблица 4.22

Предельные отклонения шага резьбы резьбооформляющих деталей

Длина резьбы	Предельное отклонение шага
До 12	$\pm 0,008$
Свыше 12 до 32	$\pm 0,010$
Свыше 32 до 50	$\pm 0,012$
Свыше 50	$\pm 0,014$

Предельные отклонения половины угла профиля резьбы резьбооформляющих деталей следует назначать в соответствии с табл. 4.23.

Таблица 4.23

Предельные отклонения половины угла профиля резьбы резьбооформляющих деталей

Шаг P , мм	Предельное отклонение половины угла профиля, мин
До 0,35	± 65
Свыше 0,35 до 0,60	± 50
Свыше 0,60 до 1,00	± 40
Свыше 1,00 до 1,50	± 35
Свыше 1,50 до 3,00	± 25
Свыше 3,00	± 20

Пример расчета исполнительных размеров резьбооформляющих деталей. Рассчитать исполнительные размеры резьбы резьбооформляющих деталей для прессования болта и гайки из фенотласта марки 03-010-02 по ГОСТ 5689-79; усадка 0,4–0,8%; резьба болта М16-8g; резьба гайки М16-Н7; шаг $P = 2$ мм; число витков 8.

По ГОСТ 9150-81 наружный, средний и внутренний диаметры резьбы соответственно равны: $d = D = 16$ мм; $d_2 = D_2 = 14,701$ мм; $d_1 = D_1 = 13,835$ мм.

По ГОСТ 16093-81 верхнее отклонение болта $es = 0,038$ мм; допуск наружного диаметра болта $T_d = 0,45$ мм; допуск среднего диаметра болта $T_{d2} = 0,25$ мм; нижнее отклонение гайки $EI = 0$; допуск среднего диаметра гайки $T_{D2} = 0,265$ мм; допуск внутреннего диаметра гайки $T_{D1} = 0,475$ мм.

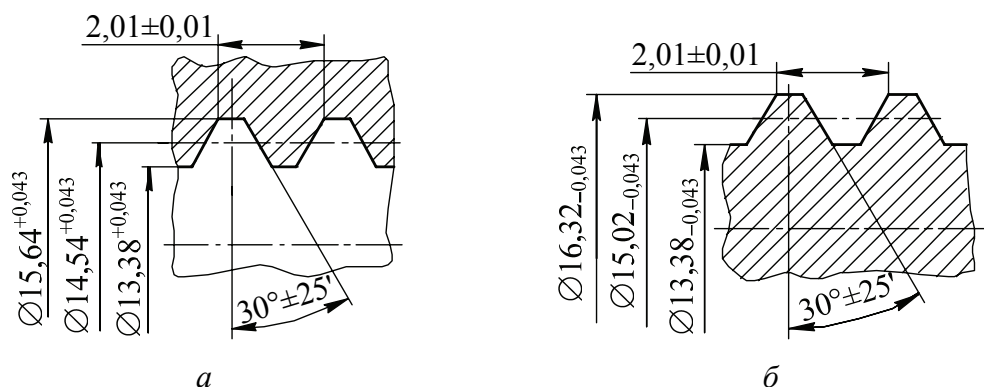


Рис. 4.90. Резьбоформирующие кольцо (а) и знак (б)

Исполнительные размеры диаметров резьбы резьбоформирующего кольца (рис. 4.90, а) рассчитываются по формулам (1)–(3) табл. 4.19:

$$D_k = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,8 - 0,45 - 0,038 = 15,640 \text{ мм};$$

$$D_{2k} = 14,701 + 14,701 \cdot 0,01 \cdot 0,8 - 0,25 - 0,038 = 14,530 \text{ мм};$$

$$D_{1k} = 13,835 + 13,835 \cdot 0,01 \cdot 0,8 - 0,25 - 0,038 - 0,144 \cdot 2 = 13,369 \text{ мм}.$$

Исполнительные размеры с учетом округления по табл. 4.20 равны: $D_k = 15,64 \text{ мм}$; $D_{2k} = 14,54 \text{ мм}$; $D_{1k} = 13,38 \text{ мм}$.

Предельные отклонения диаметров приняты в соответствии с табл. 4.21.

Исполнительный размер шага резьбы резьбоформирующего кольца рассчитывают по формуле (4) табл. 4.19.

$$P_k = 2(1 + 0,01 \cdot 0,6) = 2,012 \text{ мм}.$$

Исполнительный размер шага с учетом округления равен 2,01 мм.

Предельные отклонения половины угла профиля резьбы резьбоформирующего кольца приняты по табл. 4.23.

Исполнительные размеры диаметров резьбы резьбоформирующего стержня (рис. 4.90, б) рассчитываются по формулам (5)–(7) табл. 4.19:

$$d_{ct} = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,4 + 0,265 + 0 = 16,329 \text{ мм};$$

$$d_{2ct} = 14,701 + 14,701 \cdot 0,01 \cdot 0,4 + 0,265 + 0 = 15,024 \text{ мм};$$

$$d_{1ct} = 13,835 + 13,835 \cdot 0,01 \cdot 0,4 + 0,475 + 0 = 14,365 \text{ мм}.$$

Исполнительные размеры с учетом округления по табл. 4.20 равны: $d_{ct} = 16,32 \text{ мм}$; $d_{2ct} = 15,02 \text{ мм}$; $d_{1ct} = 14,36 \text{ мм}$.

Предельные отклонения диаметров приняты в соответствии с табл. 4.21.

Исполнительный размер шага и предельные отклонения шага и половины угла профиля резьбы резьбооформляющего стержня те же, что и для резьбооформляющего кольца.

4.2.5. Система обогрева пресс-форм

Назначение и основные конструкционные решения. Назначение системы обогрева пресс-форм – создание максимально возможного равномерного температурного поля во всем объеме прессованного изделия, обеспечение условий для минимально возможных затрат времени на окончательный нагрев и отверждение термореактивного материала в оформляющей полости, циклическое малоинерционное восстановление рациональных температурных условий прессования изделий. Система обеспечивает передачу тепла от внешних источников в рабочую зону прессования.

В настоящее время в пресс-формах для переработки реактопластов применяют только электрообогрев. По типу источников тепла различают электронагревательные элементы сопротивления и индукторы.

В качестве нагревательных элементов сопротивления применяют ТЭНы различных конструкций, в том числе те, что выпускаются по ГОСТ 1368 (рис. 4.91). Набор таких элементов позволяет быстро и легко монтировать плиты обогрева с разной тепловой отдачей при помощи установки ТЭНов необходимой мощности. При выходе из строя одного или нескольких элементов их легко заменить новыми. К недостаткам такого обогрева необходимо отнести ограниченный срок службы ТЭНов вследствие их перегрева из-за сложности обеспечения полного контакта ТЭНов с плитами. Электронагревательные элементы сопротивления размещают в каналах плит. Количество элементов (и каналов) зависит от размеров плит-заготовок и необходимой суммарной мощности электронагревателей. При одинаковых размерах плит-заготовок (они стандартизированы согласно ГОСТ 15861) суммарная мощность электронагревателей в нижней плите обогрева больше, чем в верхней, при одинаковом количестве каналов; одинаковая мощность электронагревателей, которые размещаются в центральных каналах плит, на 0,10–0,15 кВт меньше, чем в периферийных.

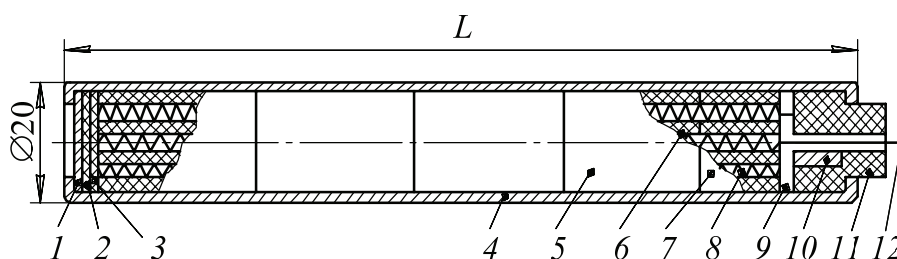


Рис. 4.91. Нормализованный нагревательный элемент (ТЭН):

- 1 – стальное доньшко; 2 – миканитовая прокладка; 3 – асбестовая прокладка; 4 – трубка из жароупорной стали; 5 – керамическая втулка; 6 – изоляция из окиси магния или кварцевого песка; 7 – керамическая втулка малая; 8 – нихромовая спираль; 9 – асбестовая шайба; 10 – зажимной контакт из нержавеющей стали; 11 – керамическое клеммное кольцо; 12 – никелиновый провод

Размещение электронагревателей (и каналов) может быть неравномерным (из-за выталкивателей, знаков и т. д.), они могут располагаться на разных расстояниях один от одного и от краев плит, но важно, чтобы созданное ими температурное поле в объеме изделия было максимально равномерным. Суммарная площадь электронагревателей должна быть больше, чем расчетная (но не более чем в 1,3 раза). В плитах обогрева делают отверстия под термоэлектрические преобразователи (ГОСТ 6616), а также отверстия глубиной до 100 мм и диаметром 10,5 мм для установки термометров визуального наблюдения. При конструировании плит обогрева необходимо придерживаться следующих требований:

- размещение электронагревательных элементов должно обеспечивать равномерное прогревание всей поверхности формующих элементов;

- при определенной суммарной мощности нагревателей необходимо устанавливать большое их количество с меньшей одинаковой мощностью;

- в зависимости от размещения оформляющих полостей, выталкивателей и конфигурации изделия отверстия в плитах обогрева могут быть размещены симметрично (на равных расстояниях друг от друга), парами или смещены от центра до краев плит, но по возможности ближе к формующим элементам;

- требования к качеству отверстия под ТЭНы и к размеру зазора между наружной поверхностью ТЭНа и стенкой плиты обогрева – не более чем 0,5 мм.

Ориентировочные значения мощности P нагревателя в зависимости от массы m пресс-форм приведены в табл. 4.24.

Таблица 4.24

Ориентировочные значения мощности P нагревателя в зависимости от массы m пресс-форм

m , кг	P , кВт	m , кг	P , кВт	m , кг	P , кВт	m , кг	P , кВт
25	1,0	100	3,2	250	5,0	400	8,0
30	1,2	110	3,4	260	5,2	410	8,2
35	1,4	120	3,6	270	5,4	420	8,4
40	1,6	130	3,8	280	5,6	430	8,6
45	1,8	140	3,9	290	5,8	440	8,8
50	2,0	150	4,0	300	6,0	450	9,0
55	2,1	160	4,2	310	6,2	460	9,2
60	2,3	170	4,3	320	6,4	470	9,4
65	2,5	180	4,3	330	6,6	480	9,6
70	2,6	190	4,4	340	6,8	490	9,8
75	2,7	200	4,5	350	7,0	500	10,0
80	2,8	210	4,6	360	7,2	600	12,0
85	2,9	220	4,7	370	7,4	700	14,0
90	3,0	230	4,8	380	7,6	800	16,0
95	3,1	240	4,9	390	7,8	900	18,0

Для обогрева пресс-форм широко используется индукционный нагрев токами промышленной частоты. Преимущества индукционного нагрева – незначительные потери тепла за счет существенного уменьшения при этом излучения и конвекции тепла. Индукторы нагревают обоймы пуансона и матрицы. Вокруг индуктора при пропускании через него переменного тока образуется магнитное поле, напряженность которого периодически изменяется в соответствии с величиной и направлением. Токи, индуцированные в пресс-форме, циркулируют так, что образуется сопротивление для протекания тока в индукторе. При этом пресс-форму можно рассматривать в качестве вторичной обмотки трансформатора, которая состоит из одного витка, а индуктор – в качестве первичной обмотки.

Во вторичной обмотке образуется тепло, которое вместе с теплом, появляющимся в результате постоянного перемагничивания переменного магнитного поля, образует то количество тепла, которое и нагревает пресс-форму до температуры переработки. В результате скин-эффекта плотность тока во вторичной цепи непостоянная. Она уменьшается (в соответствии с законом e^{-x} функции)

от максимума I_2 на поверхности металла, который охватывает катушку индуктора, по направлению внутрь пресс-формы. Глубину, на которой плотность тока уменьшается в 2,718 раза (основа натурального логарифма), т. е. до $I = 0,368I_2$, называют глубиной проникновения Δ ; в расчетах принимают, что плотность тока на глубине проникновения Δ имеет постоянное максимальное значение I_2 .

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho_c}{\mu f}}, \quad (4.52)$$

где ρ_c – удельное электрическое сопротивление стали, Ом·м; μ – относительная магнитная проницаемость при данной температуре и напряженности; f – промышленная частота тока, Гц.

Индуктор, или индукционный нагреватель, представляет собой специальную катушку, которая устанавливается в пазы плиты обогрева, охватывающие полость формы – матрицу и пуансон. Расстояние между стенкой полости формы и стенкой паза должна быть как можно меньше, она определяется прочностным расчетам. Укладка индуктора должна обеспечивать легкость его снятия. Изоляция провода, которую используют для изготовления обмотки индуктора, должна выдерживать максимальную температуру индуктора. Индукционная катушка должна быть плотно посажена в паз, поскольку воздушный зазор между отдельными слоями обмотки ухудшит теплопередачу от индукционной катушки к пресс-форме и может привести к перегреву катушки и разрушению изоляции провода.

Чтобы ликвидировать влияние неизбежных зазоров, которые остаются, несмотря на плотную намотку, рекомендуется после посадки катушки в паз залить ее силиконовым лаком (это возможно только при температуре до 180°C). Пазы в плане могут быть круглыми, прямоугольными с округлыми углами или в виде удлиненного овала; в сечении – прямоугольные (рис. 4.92).

Размеры сечения пазов определяют после установления необходимой мощности для обогрева пресс-форм. Верхнюю плиту обогрева закрывают стальной шлифованной крышкой. Выводы катушки подключают к клеммной колодке. Терморегуляторы размещают в плитах обогрева на расстоянии около 3 мм от стенки паза.

Пример конструкции клеммника показан на рис. 4.93.

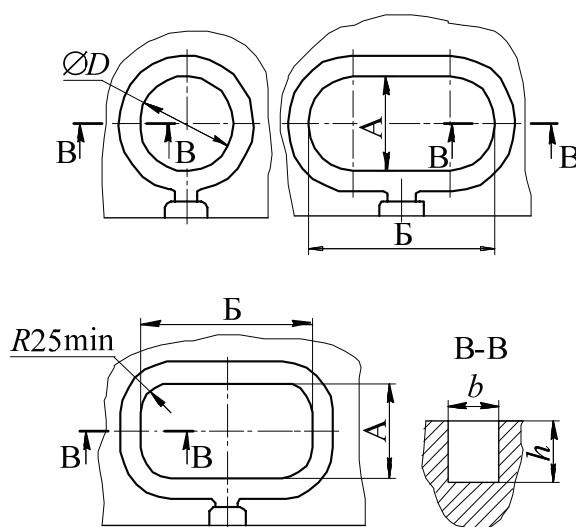


Рис. 4.92. Конструкция паза для размещения индуктора

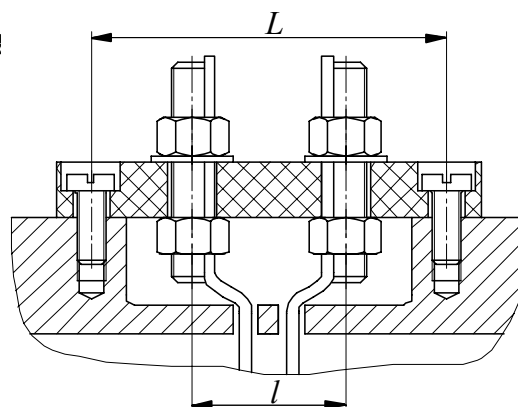


Рис. 4.93. Пример конструкции клеммника

Индукционные нагреватели более прочные, чем электронагревательные элементы сопротивления, они позволяют создать более равномерное температурное поле, уменьшить время разогрева пресс-форм, но они более сложные в изготовлении, монтаже и заменах.

4.2.6. Система удаления изделий из оформляющей полости

В систему удаления изделий входят детали, взаимодействие которых (после формирования изделий и размыкания пресс-формы) приводит к перемещению и выталкиванию изделий.

В эту систему могут входить различные манипуляторы снятия и укладки изделий за рабочей зоной пресса. В большинстве случаев по смыслу выполняемой работы систему называют выталкивающей. Она жестко связана (в стационарных пресс-формах прямого и литьевого прессования) с выталкивающей системой гидравлического пресса и перемещается с последней по командам (вручную, автоматически). Выталкивающая система монтируется в основном в нижней части пресс-формы (рис. 4.94).

Хвостовики для выталкивающей системы приведены на рис. 4.95.

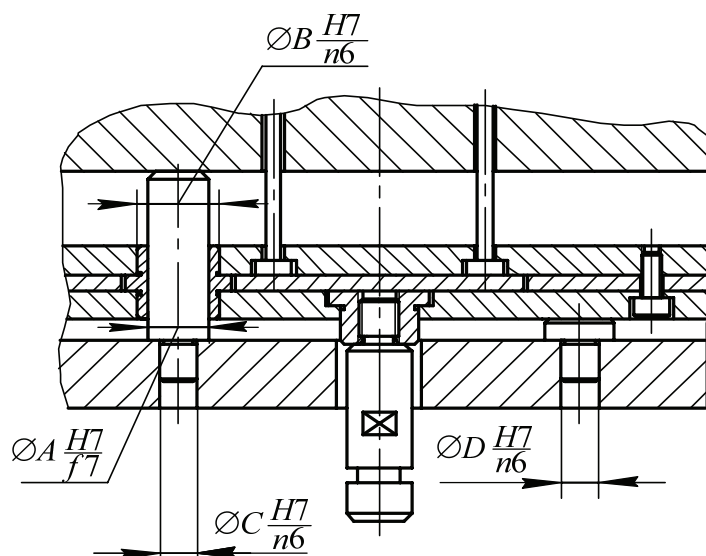


Рис. 4.94. Выталкивающая система пресс-формы

Выбор выталкивателей зависит от конфигурации и габаритов изделия, которое прессуется. Известны следующие конструктивные варианты выталкивающих систем: стержневая (наиболее распространенная), клиновья (сравнительно мало распространена), комбинированные (для извлечения изделий сложной конфигурации в стационарных пресс-формах).

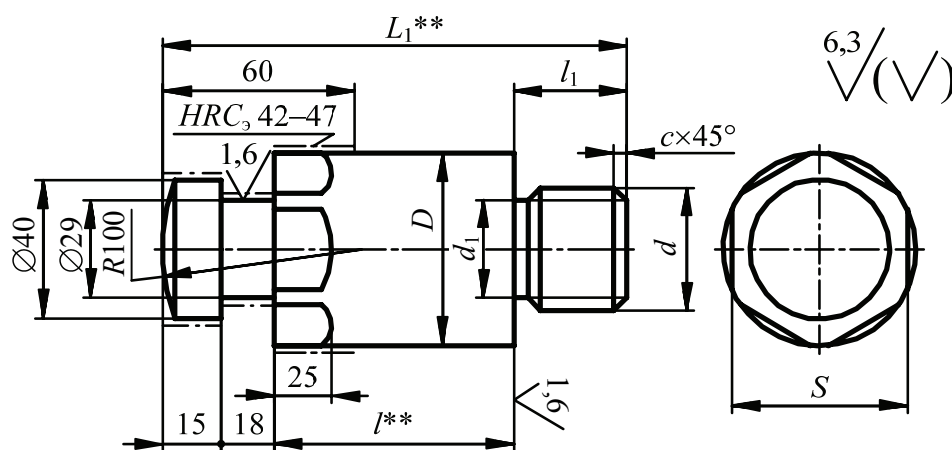


Рис. 4.95. Хвостовик пресс-формы

Основные требования к выталкивателям следующие.

- При размещении выталкивателей необходимо предусматривать, чтобы изделие не было перекошено при извлечении из матрицы, иначе неизбежна его деформация или поломка; усилие, которое возникает при выталкивании на торцах толкателей, не должно деформировать

или разрушать изделие, поэтому лучше всего ставить выталкиватели под арматуру или утолщенные места (ребра, бобышки и др.).

- Отбивки, следы, которые остаются от выталкивателей, не должны портить внешний вид. Поэтому торцы выталкивателей должны находиться в одной плоскости с дном оформляющей полости. Когда сторона изделия, на которую воздействуют выталкиватели, не является внешней, разрешено торцы выталкивателей делать на 0,15–0,2 мм выше, чем дно матрицы, что даст небольшие углубления (эти углубления необходимо предусмотреть в чертеже). При «утопленных» в матрицу (относительно к плоскости дна) выталкивателях на изделии будут оставаться выступы, что недопустимо.

- Высота выталкивателей (в частности, в съемных пресс-формах без нижних плит) должна быть обязательно одинаковой, иначе может произойти перекос и поломка изделия, которое выталкивается.

- Величина хода выталкивателей должна целиком обеспечивать удаление отпрессованного изделия из пресс-формы. Для стационарных пресс-форм она соответствует расстоянию от дна оформляющей полости к верхней плоскости обоймы матрицы (загрузочной камеры) плюс 8–10 мм (чтобы ввести под вытолкнутые изделия вилкосъемник).

- Крепление выталкивателей в стационарных пресс-формах рекомендуется делать, как правило, свободно плавающим.

- Выталкиватели нельзя размещать вплотную со стенками оформляющего гнезда, чтобы его не повредить, их нужно устанавливать как можно ближе к контуру формирующего элемента, а также в наиболее глубоких местах оформляющей полости – для равномерного извлечения и уменьшения деформации изделия.

4.3. Оснастка для раздувного формования

4.3.1. Сущность метода

Объемные изделия из термопластов изготавливаются тремя способами: а) склеиванием или свариванием двух половин, полученных литьем под давлением или вакуум-формованием; б) раздувом сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной литьем под давлением;

в) раздувом сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной выдавливанием в открытое пространство. Последний получил наибольшее распространение.

Применяются три способа раздува: посредством раздувающего ниппеля (рис. 4.96); подачи воздуха через дорн раздувной головки; подачи воздуха через раздувную иглу, прокалывающую заготовку, зажатую в форме.

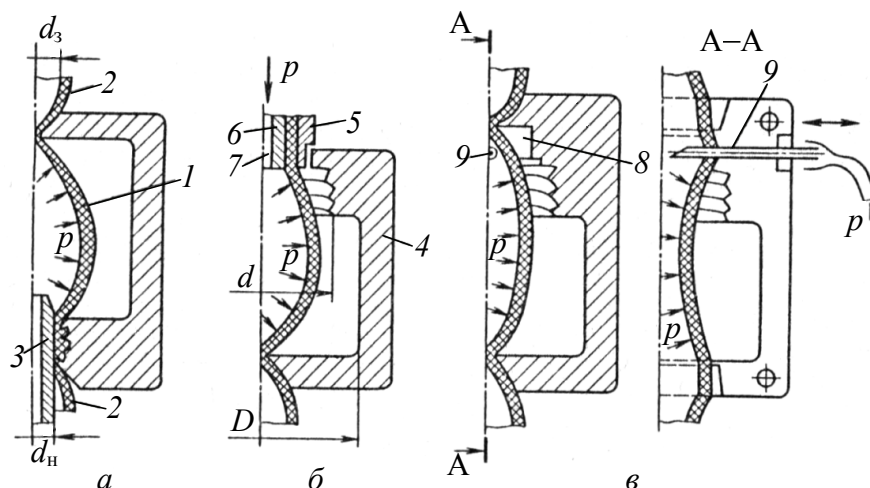


Рис. 4.96. Способы раздува заготовок в форме:

а – раздув через ниппель; *б* – раздув через головку; *в* – раздув через иглу;
 1 – часть заготовки, из которой формируется изделие; 2 – грат; 3 – раздувной ниппель; 4 – полуформа; 5 – мундштук; 6 – дорн головки; 7 – отверстие в дорне для подачи раздувающего воздуха; 8 – технологическая полость для части заготовки, в которую вводится игла; 9 – раздувная игла

Диапазон габаритов и массы полых изделий, изготавливаемых раздувным формованием из термопластов, чрезвычайно широк. Методом раздувного формования изготавливают преимущественно тару самого различного назначения емкостью от нескольких кубических сантиметров до 3000 л: канистры, бочки, бидоны, бутылки, флаконы, тубы и др. Перерабатываются этим методом в основном полиолефины, поливинилхлорид, полистирол и его сополимеры.

Сущность метода поясняет приведенная на рис. 4.97 схема экструзионно-раздувного формования.

Пластицирующий экструдер 1 подает расплав термопласта в головку 4, откуда он выдавливается в виде трубчатой заготовки кольцевого сечения 5 в пространство между разомкнутыми полуформами 6 (поз. I).

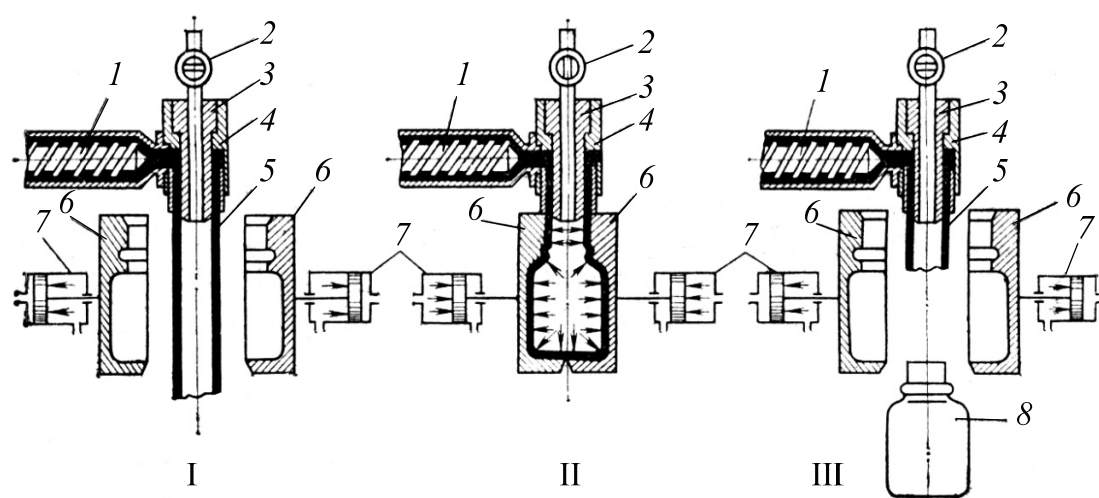


Рис. 4.97. Схема экструзионно-раздувного формования

Как только длина заготовки достигает требуемой величины, полуформы с помощью пневмоцилиндров 7 смыкаются (поз. II). При этом нижний конец заготовки пережимается и сваривается, а верхний ее конец плотно обжимается на выступающей части сердечника (дорна) 3 головки. Кран 2 открывается, и сжатый воздух через центральное отверстие в дорне 3 подается внутрь заготовки, раздувая и обжимая ее по холодной формообразующей поверхности формы. Происходит охлаждение и затвердевание материала отформованного изделия. Начиная с момента смыкания и вплоть до размыкания полуформ привод экструдера отключен и подача расплава отсутствует. Как только изделие становится достаточно формоустойчивым, пневмоцилиндры 7 раскрывают полуформы 6, изделие 8 извлекается и вновь начинается экструзия заготовки (поз. III); цикл повторяется.

Недостатком экструзионного метода производства объемных изделий раздуванием является неравномерная толщина стенок изделия (разнотолщинность), возникающая в результате разнотолщинности заготовки из-за ее вытяжки под действием собственного веса за время экструзии, а также из-за неравномерности температуры заготовки по высоте (более низкую температуру имеет нижняя часть заготовки, которая успевает значительно охладиться). Различие в толщинах стенок изделий круглого поперечного сечения по высоте достигает 30–40%, а для изделий других сечений – еще выше. Вторым недостатком этого метода является большое количество отходов – 50% от массы изделия.

4.3.2. Формующий инструмент

Формующим инструментом в раздувных агрегатах называют устройства (экструзионные головки), которые обеспечивают формирование расплава термопласта в заготовку соответствующей геометрической формы и размеров, раздуваемую затем сжатым воздухом в объемное изделие.

Головка экструдера представляет собой отдельный сменный механизм, в котором устанавливаются детали, составляющие непосредственно формующий инструмент.

Для производства объемных изделий методом экструзии с раздуванием применяются в основном заготовки в виде листов и труб, которые используются чаще всего.

Наибольшее распространение при производстве объемных изделий нашли угловые головки. В угловых экструзионных головках поток расплавленного полимера, поступающий из винтового канала червяка в формующий инструмент, должен быть повернут перпендикулярно оси червяка, причем в конце поворота он должен вновь стать круговым и полностью симметричным по отношению к новой оси. При этом давление, скорость течения, температура и вязкость массы после поворота, т. е. перед выходной щелью формующего инструмента, не должны иметь каких-либо азимутальных неравномерностей.

Следует учитывать, что всякое изменение направления потока массы, растянутого в поперечной плоскости, обязательно приводит к различной длине пути отдельных струй, т. е. элементов поперечного сечения потока.

Отношение предельного изменения длины пути к средней длине пути прямо пропорционально кривизне среднего пути (т. е. обратной величине среднего радиуса кривизны) и не зависит от угла поворота (см. рис. 4.98):

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\left(r + \frac{a}{2}\right)\varphi - \left(r - \frac{a}{2}\right)\varphi}{r\varphi} = \frac{a}{r}, \quad (4.53)$$

где r – радиус средней дуги; φ – угол поворота; l – длина средней дуги; a – толщина канала; Δl – разность длин дуги.

Указанные различия в длине пути потока расплава влияют на давление, температуру и вязкость полимера. Если не предусмотреть специальных мер, то после прохождения поворота может иметь

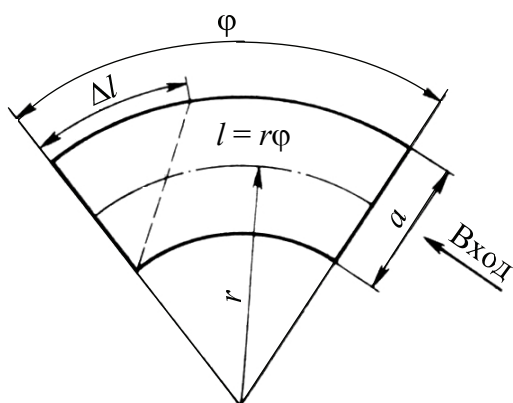


Рис. 4.98. Расчетная схема участка поворота в угловых головках

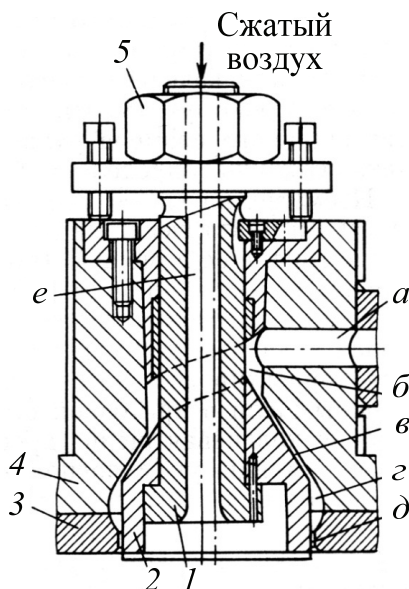


Рис. 4.99. Головка для получения трубчатой заготовки со скошенным конусом и составным дорном:
 1 – дорн; 2 – наконечник дорна;
 3 – мундштук; 4 – корпус головки;
 5 – гайка регулирования зазора;
 а – канал для подвода расплава;
 б – сборный канал; в – конический кольцевой канал; г – выравнивающий канал; д – формирующий зазор;
 е – канал для подвода сжатого воздуха

место неравномерность соответствующих характеристик массы в плоскости, перпендикулярной к направлению ее движения. Это вызывается тем, что давление на выходном конце внутренней дуги поворота оказывается всегда больше, чем на выходном конце внешней дуги. В результате такого различия в давлении экструдированное изделие или будет искривляться или иметь большую толщину стенки со стороны внутренней дуги поворота.

Проблема поворота потока расплава может быть практически решена при применении угловой головки, представленной на рис. 4.99.

Поток расплава полимера поступает из кольцевого сборного канала в концентрическую щель мундштука через такую же концентрическую, но скошенную на приточной стороне коническую щель регулируемой толщины. Эта осесимметричная по длине коническая щель, к которой непосредственно примыкает щель мундштука, может быть отрегулирована в осевом направлении так, что выходящий из мундштука поток расплава полимера будет иметь по всей окружности одинаковую интенсивность. Таким образом, настройка достигается одноосным перемещением соответствующих

деталей головки. При этом особую роль играет собственное сопротивление концентрической щели мундштука.

В головку (см. рис. 4.99) расплав полимера поступает через входной канал a . Затем он распределяется вокруг дорна l в кольцевом сборном канале b , расположенном наклонно к оси дорна и имеющем относительно большое поперечное сечение. При установившемся рабочем режиме падение давления расплава полимера между приточной ($\varphi = 0$) и противоположной ($\varphi = \pi$) сторонами сборного канала происходит по определенному закону симметрично с обеих сторон дорна. Приданием сборному каналу соответствующих размеров можно добиться линейного падения давления по закону

$$p = p_0(1 - c\varphi), \quad (4.54)$$

где p – давление в произвольной точке в сборном канале; p_0 – давление со стороны притока; c – константа; φ – угол поворота расплава полимера вокруг дорна ($0 \leq \varphi \leq \pi$).

Из сборного канала b расплав полимера течет по всей окружности через конический кольцевой канал $в$, который имеет равномерную ширину, но различную для отдельных элементов окружности длину. Длина щели l имеет наибольшую величину l_0 на приточной стороне и непрерывно линейно уменьшается до величины l_π на противоположной стороне:

$$l = l_0(1 - c'\varphi), \quad (4.55)$$

где c' – константа.

За этим участком пути расплава полимера следует обычно выравнивающий канал $г$ и формирующий зазор $д$ между передней частью наконечника 2 дорна и мундштуком 3. Кольцевой канал $в$ образован скошенной конической поверхностью наконечника 2 дорна и соответствующей конической выточкой в корпусе 4. Наконечник дорна может быть цельным или состоящим из нескольких частей, причем с дорном l он может быть связан жестко или так, что его можно перемещать вдоль оси.

Для бесступенчатого регулирования толщины кольцевого канала предусмотрены нарезка на дорне и установочная гайка 5. Вверх наконечник дорна перемещается с помощью упорных болтов фланца (заплечика) свободного конца дорна, а вниз – под действием давления расплава полимера в сборном канале b и кольцевом канале.

Толщина формующего зазора мундштука при осевом регулировании конического кольцевого канала не изменяется. При этом происходит только некоторое смещение торцевой поверхности свободного конца дорна относительно торцевой поверхности мундштука. Это смещение не имеет большого значения, но все же с помощью мундштучных колец различной высоты величина этого смещения может быть снижена до минимума.

Если головку питать термопластичными материалами с различными реологическими свойствами, то оказывается, что для каждого материала требуется особая настройка скошенного конического канала, при которой скорость выходящей из формующего зазора массы будет одинакова по периметру. При такой настройке экструдруемый рукав имеет по всей окружности» одинаковую толщину. Всякое уменьшение зазора увеличивает толщину рукава на левой стороне, а его расширение увеличивает толщину рукава на правой стороне. В противоположность обычным конструкциям головок, в которых для получения равномерной толщины стенок изделия требуется обязательно двухмерное регулирование формующего зазора мундштука с помощью минимум трех установочных болтов, в указанной головке для этой цели достаточно одномерного осевого регулирования.

Кроме того, угловая головка, показанная на рис. 4.99, позволяет, как правило, работать с более жесткими допусками по толщине в сравнении с другими головками. Благодаря равномерному напряжению сдвига по окружности поперечного сечения потока материала, достигаемому концентрической установкой выравнивающей и выходной щелей, такая головка обеспечивает лучшие показатели механических и других характеристик готовых изделий.

В экструзионных раздувных агрегатах для получения изделий небольшой емкости применяются многоручьевые головки (рис. 4.100), которые обеспечивают одновременную выдачу нескольких заготовок. Основной недостаток таких головок заключается в том, что из-за разной удаленности отдельных выходных каналов (ручьев) от питающего возникают различия в линейной скорости выдачи трубчатых заготовок. Для выравнивания скорости выдачи заготовок регулируют давление в каждом канале головки дросселированием (см. рис. 4.100, *а*) или изменением поперечного сечения канала, из которого поступает расплав (рис. 4.100, *б*)

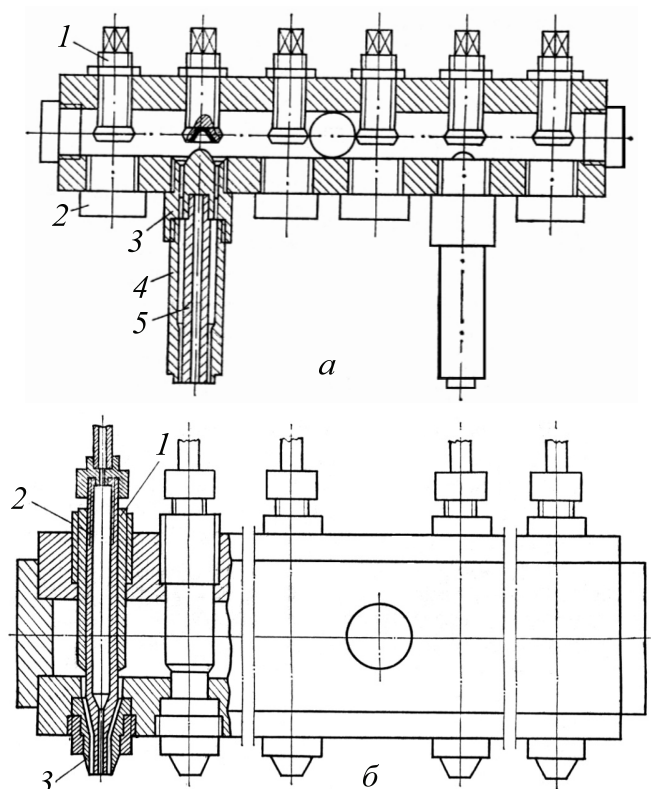


Рис. 4.100. Многоручьевая экструзионная головка:

а: 1 – регулировочный винт; 2 – пробка; 3 – корпус-переходник;

4 – мундштук; 5 – дорн;

б: 1 – винт регулировки зазора; 2 – дорн; 3 – мундштук

При производстве крупногабаритных объемных изделий в экструзионно-раздувных агрегатах с целью увеличения скорости выдачи заготовки применяются как вертикально, так и горизонтально расположенные копильники. При вертикальном расположении копильника (рис. 4.101) качество выдавливаемой заготовки выше, так как отсутствует поворот потока расплава, и в них значительно меньше застойных зон.

Расплав из экструдера 1 через подводящий канал 2 поступает в копильную камеру 7, расположенную в корпусе головки 3. Под действием давления расплава поршень 6 поднимается вверх. Как только накопилась необходимая порция расплава, с помощью привода 4 поршень выдавливает заготовку. В приведенной схеме копильного устройства использованы конические мундштук 9 и дорн 8, взаимное перемещение которых с помощью привода 5 позволяет изменять толщину стенки заготовки в процессе ее выдачи.

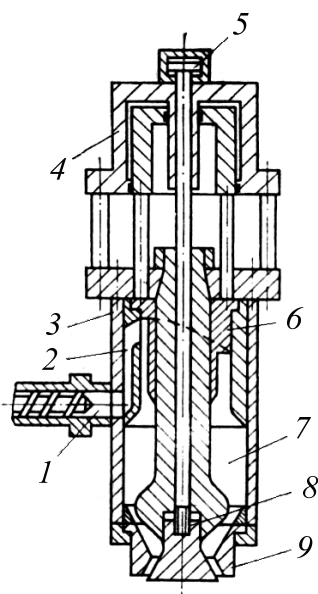


Рис. 4.101. Экструзионная головка с копильником:

- 1 – экструдер;
- 2 – подводящий канал;
- 3 – корпус головки;
- 4 – привод копильника;
- 5 – привод регулировки зазора;
- 6 – поршень копильника;
- 7 – копильная камера;
- 8 – подвижный дорн;
- 9 – мундштук

Общие принципы, которыми руководствуются при конструировании экструзионных головок, сводятся к следующему: внутренние полости, по которым течет расплав полимера, должны обеспечивать равномерный поток его без резких переходов, без наличия «мертвых» зон (застойных пространств), которые могут привести к перегреву и даже разложению полимера, и иметь высокое качество чистоты обработки поверхности.

Одним из основных видов расчетов формующего инструмента является расчет его гидравлического сопротивления. Цель гидравлического расчета формующего инструмента – определить зависимость между перепадом давления по длине канала, производительностью и геометрическими размерами канала. Поскольку размеры сечения канала зависят от формы изделия и, очевидно, в расчете принимаются неизменными, гидравлическим расчетом определяется для конкретного мундштука связь перепада давления, производительности и длины оформляющего канала.

Эти величины для ньютоновской жидкости связаны простым соотношением:

$$Q = \frac{k \Delta p}{\eta}, \quad (4.56)$$

где Q – объемный расход; k – коэффициент геометрической формы канала; Δp – перепад давления по длине канала; η – вязкость.

Для канала с сечением любой конфигурации, неизменным по длине, k определяется как

$$k = \frac{F^3}{2\Pi^2}, \quad (4.57)$$

где F – площадь поперечного сечения; l – длина канала; Π – периметр сечения канала.

Некоторая неточность такого расчета очевидна, так как для неньютоновской жидкости любой выбранный коэффициент вязкости будет всего лишь «усредненным» по отношению к эффективной вязкости, зависящей от градиента скорости. Однако этот упрощенный метод расчета можно считать достаточно точным для конструкторских целей.

Для описания процесса выведено простое уравнение, связывающее скорость выхода заготовки v_3 из головки с плотностью расплава ρ_p , эффективной вязкостью расплава η_0 (при нулевой скорости сдвига) и длиной заготовки L_3 :

$$v_3 = 1555 \rho_p L_3^2 / \eta_0. \quad (4.58)$$

Величина L_3 рассчитывается с запасом относительно длины изделия $L_{\text{и}}$. С учетом потери длины на заваривание дна

$$L_3 = 1,15 L_{\text{и}}. \quad (4.59)$$

Зная $L_{\text{и}}$, наружный диаметр симметричного изделия $D_{\text{н.и}}$ и среднюю толщину стенки изделия $\delta_{\text{и}}$, можно рассчитать толщину стенки заготовки δ_3 :

$$\delta_3 = 1,2 \frac{D_{\text{н.и}} - \sqrt{D_{\text{н.и}}^2 - 4\epsilon_p D_{\text{н.и}} \delta_{\text{и}} + 4\epsilon_p^2 \delta_{\text{и}}^2}}{2\epsilon_p}, \quad (4.60)$$

где ϵ_p – степень раздува заготовки, равная отношению $D_{\text{н.и}}$ изделия к $D_{\text{н.з}}$ заготовки (в пределах 3–5).

Зная δ_3 , v_3 и $D_{\text{н.з}}$, расход расплава Q на получение одного изделия можно определить как

$$Q = \pi \delta_3 (D_{\text{н.з}} - \delta_3) v_3. \quad (4.61)$$

Для определения размеров (диаметров) формирующего инструмента – мундштука ($D_{\text{м}}$) и дорна ($D_{\text{д}}$) – необходимо учесть величину разбухания расплава β , которая довольно значительна в данном процессе, так как вязкость η расплава предельно велика, а v_3 максимальна. Для определения β необходимо воспользоваться зависимостью этой величины от скорости сдвига для различных зазоров формирующей щели.

Зная β , можно определить $D_{\text{м}}$ и $D_{\text{д}}$:

$$D_{\text{м}} = D_{\text{н.з}} / \beta; \quad D_{\text{д}} = (D_{\text{н.з}} - 2\delta_3) / \beta. \quad (4.62)$$

Общее время цикла формования $t_{\text{ц}}$ состоит из следующих составляемых:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_{\text{с}} + t_{\text{р}} + t_{\text{о}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{и}}, \quad (4.63)$$

где $t_{\text{в}}$ – время выдачи заготовки из формующей головки; $t_{\text{с}}$ – время смыкания формы; $t_{\text{р}}$ – время раздува; $t_{\text{о}}$ – время охлаждения; $t_{\text{раз}}$ – время размыкания формы; $t_{\text{и}}$ – время извлечения изделия из формы.

Некоторые составляющие уравнения также рассчитываются: $t_{\text{в}} = L_3 / v_3$; $t_{\text{с}}$ и $t_{\text{р}}$ находятся в паспорте агрегата;

$$t_{\text{р}} = \frac{V}{C} \left(1 - \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right), \quad (4.64)$$

где V – объем раздуваемого изделия; C – скорость прохождения воздуха в заготовку; $(P_2 - P_1) / P_1$ – величина, учитывающая повышение исходного давления P_1 до P_2 в результате нагрева воздуха от стенок заготовки или изделия;

$$t_{\text{о}} = \frac{4\delta_{\text{и}}^2}{\pi^2 a} \ln \frac{T_3 - T_{\text{ф}}}{T_{\text{и}} - T_{\text{ф}}}, \quad (4.65)$$

где a – коэффициент температуропроводности полимера в рабочем интервале температур; T_3 – температура заготовки; $T_{\text{ф}}$ – формы; $T_{\text{и}}$ – изделия к моменту раскрытия формы ($T_{\text{и}}$ выбирается исходя из данных по формоустойчивости на 15–20°C ниже и зависит от конструкции агрегата).

Время $t_{\text{ц}}$ на 80% состоит из времени $t_{\text{о}}$, необходимого на охлаждение. Все это время экструдер не работает, что неэкономично. Для получения толстостенных изделий значение $t_{\text{о}}$ весьма существенно. Поэтому применяют многопозиционные, карусельные агрегаты, в которых после раздува заготовки форма охлаждается вне экструдера, а к нему присоединяется новая, пустая форма, и цикл повторяется. В этом случае экструдер почти постоянно выдавливает расплав заготовку, т. е. работает безостановочно.

4.3.3. Формы для раздувного формования

При изготовлении объемных изделий раздуванием из полимерных заготовок применяются формы из двух полуформ (рис. 4.102).

Каждая полуформа 5, 13 крепится к плитам механизма смыкания 7 раздувного агрегата, где формообразующие полуматрицы в сомкнутом состоянии образуют оформляющую полость, в которой

оказывается замкнутой заготовка 4, пережатая снизу и сверху пресс-кантами 3, 14, 17. Конфигурация поверхностей нижнего пресс-канта, которая соприкасается с заготовкой, такая, что в ней при передавливании остается отверстие, через которое в полость заготовки вводится раздувной ниппель 8, находящийся в корпусе 10. Через ниппель по каналу 9 подается в заготовку под давлением воздух для ее раздува до полного облегания ею поверхности оформляющей полости. Воздух, который оказался в оформляющей полости, раздувной заготовкой выдавливается через каналы системы вентиляции в окружающую среду.

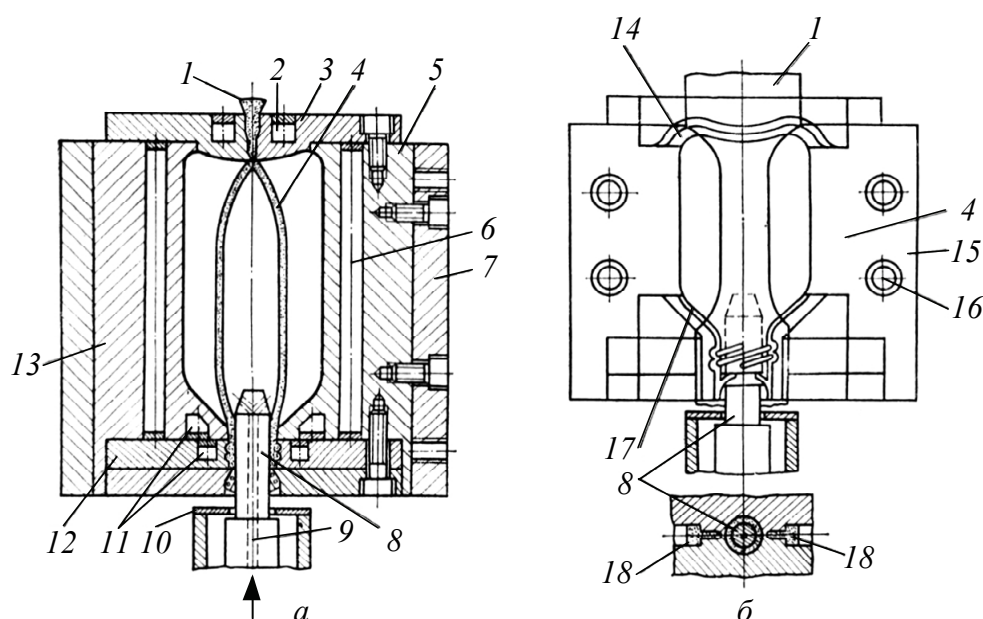


Рис. 4.102. Форма для раздувного формования

Отформованное изделие охлаждается, отдавая тепло холодным полуматрицам, от которых оно отводится охлаждающей водой, протекающей по каналам 3, 6, 11 охлаждающей системы 12. Эта система включает в себя и автономные контуры каналов 2 и 11, выполненные в верхних и нижних пресс-кантах.

При смыкании полуформы центрируются элементами направляющей системы. В данном случае ими являются направляющие колонки 16 и соединенные с ними втулки. Как правило, форма оснащена четырьмя колонками и втулками, которые размещены по ее углам на плите 15. Их конструкция полностью такая же, как и в литьевых и прессовых формах.

При раскрытии полуформ отформованное изделие остается надетым на ниппель. Ниппель обычно изготавливается подвижным таким образом, что выводит изделие из пространства между полуформами тем или иным способом. Однако конфигурация изделия может быть такой, что при размыкании он остается на одной из полуформ и не может быть вынут из нее, пока она не перейдет в состояние, приближенное к крайнему разомкнутому (например, пока подвижный формующий знак в процессе раскрытия полностью не выйдет за границы отформованного им в изделии поднутрения). В этом случае полуформа, в которой остается изделие, должна быть оснащена системой выталкивания с конструкцией, много чем похожей с такой в литьевых и прессовых формах.

При смыкании полуформ верхний I и нижний 18 излишки заготовки отдавливаются от той ее части, которая оказывается в оформляющей полости, однако полностью от нее не отделяется (между ними остается тонкая перемычка). При извлечении изделия из формы эти излишки оказываются связанными с ним перемычками. Грат удаляется затем с изделия вручную или каким-либо механизированным способом. При производстве массовых изделий форму часто оснащают системой для удаления грата с изделия. Эта операция выполняется системой автоматически в процессе размыкания формы и извлечения изделия.

При формировании крупных изделий часто усилие запираания полуформ является недостаточным, чтобы противостоять распорному усилию, возникающему между ними от давления раздувного воздуха в оформляющей полости. Это ведет к частичному раскрытию формы и разрыву изделия. В тех случаях, когда при проектировании формы несложный расчет показывает, что усилие запираания данного механизма смыкания недостаточное, в форме предусматривают систему индивидуального запираания той или иной конструкции.

Как видно из рассмотренного, раздувные формы включают в себя ряд групп (систем) деталей и элементов их конструкций, которые отличаются своим назначением, причем часть этих систем является обязательной для любой формы; другие же системы вводятся в конструкцию формы в результате возникновения необходимости в них.

К категории обязательных относятся следующие системы:

- формообразующих деталей полуматрицы, формующие знаки;
- пресс-кантов;

- охлаждения;
- вентиляции;
- направляющая;

К категории необязательных относятся системы:

- автономная запыления полуформ;
- выталкивания;
- удаления грата от изделия.

Общее конструкционное выполнение раздувных форм не такое разнообразное, как в прессовых и литьевых формах. Тут можно выделить только две основные приметы, по которым их целесообразно классифицировать: способу раздувания заготовки в оформляющей полости, материалам и, соответственно, технологии изготовления формообразующих деталей (полуформ).

Обозначим символами d_3 , d и D диаметр заготовки, горловины и наружный диаметр (или максимальный поперечный размер) изделия соответственно. Степень поперечной вытяжки заготовки при раздуве ее принято характеризовать коэффициентом раздува k :

$$k = \frac{D}{d_3}. \quad (4.66)$$

Реализуемые на практике значения k лежат обычно в диапазоне 2,5–3,5, причем предпочтительны большие его значения по ряду соображений (например, размеры дорна и мундштука и, следовательно, головки в целом для данного изделия в этом случае минимальны). Этими соображениями и определяется диаметр заготовки d_3 :

$$d_3 = \frac{D}{K_{\max}}. \quad (4.67)$$

Раздув через ниппель предпочтителен по сравнению с другими способами: изделие после раскрытия формы остается на ниппеле, что упрощает конструктивные решения, связанные с автоматизацией последующей обработки изделия; размерная точность горловины обеспечивается как по наружной, так и по внутренней поверхностям ее; имеются и другие преимущества. Однако у этого способа есть ограничение:

$$d_n < d_3,$$

если диаметр ниппеля d_n больше диаметра заготовки d_3 , то последняя не сможет надеться на него. Имея в виду очевидное равенство

$$d = d_{\text{н}},$$

ограничение представим в следующей форме:

$$d < d_3.$$

Наконец получим соотношение, определяющее категорию узкогорлых изделий, которые могут быть отформованы раздувом через ниппель:

$$d < \frac{D}{K_{\text{max}}}. \quad (4.68)$$

Изделия с большим размером горловины (или каким-либо функциональным отверстием) должны формоваться раздувом через головку или иглу. Следует при этом отметить, что при реализации раздува через головку возникает ряд сложно решаемых вопросов: центровка формы по головке, минимизация теплообмена между ними в случае их контакта, предотвращение залипания части заготовки на торцевую поверхность мундштука и др. По этой причине раздув через головку используется редко. К тому же раздувом через иглу можно формовать и полностью замкнутые (в конечном виде) изделия, так как закупорка малого отверстия от иглы технически не сложна.

Раздувные формы так же, как и литьевые и прессовые, могут быть одногнездными и многогнездными. В последнем случае в пространство между полуформами подается одновременно несколько заготовок, например, экструдированных из многоручьевой головки.

При проектировании раздувных форм необходимо соблюдать соответствие ее параметров параметрам механизма смыкания форм раздувной установки. Факторы, определяющие это соответствие, принципиально такие же, как и для прессовых (или литьевых) форм.

Во-первых, необходимое усилие смыкания полуформ на стадии обжима заготовки пресс-кантами F_0 , а также необходимое усилие запираения полуформ на стадии выдержки отформованной заготовки в форме под давлением воздуха $F_{\text{в}}$ не должны превышать усилия смыкания $F_{\text{м}}$, развиваемого механизмом смыкания:

$$F_0 \leq F_{\text{м}}; \quad F_{\text{в}} \leq F_{\text{м}}. \quad (4.69)$$

Во-вторых, оформляющая полость (или несколько полостей в многогнездной форме) должна быть размещена в форме таким образом, чтобы вектор распорного усилия полуформ, вызванного давлением воздуха в полости (полостях), был совмещен с главной осью

механизма смыкания; иными словами, направление этого вектора должно проходить через геометрический центр плит. В противном случае, если к тому же величины F_B и F_M близки друг к другу, возможна частичная неравномерная по плоскости смыкания и неодинаковая от цикла к циклу потеря контакта между полуформами и вследствие этого – увеличение колебания размеров изделий в направлении смыкания.

В-третьих, габариты формы в плане не должны превышать габариты плит механизма. В противном случае, если к тому же пресс-канты окажутся в непосредственной близости к краям плит или вне их габаритов, возможно неполное смыкание пресс-кантов и, как следствие, – толстый, трудно удаляемый грат, оставляющий заметный след на изделии.

В-четвертых, высота полуформ в сомкнутом состоянии h должна лежать внутри диапазона возможных высот h_{\min} – h_{\max} по технической характеристике раздувной установки:

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} . \quad (4.70)$$

В-пятых, необходимый для извлечения отформованного изделия ход разъема полуформ s не должен превышать хода плит механизма смыкания S :

$$s < S . \quad (4.71)$$

При этом следует иметь в виду, что во многих конструкциях механизмов смыкания величина S оказывается зависимой от конкретного значения h (подобно тому, как они взаимосвязаны у гидравлических прессов и пресс-форм).

Величина F_B определяется по формуле, смысл которой очевиден:

$$F_B = pfn , \quad (4.72)$$

где p – давление раздувающего воздуха; f – площадь проекции оформляющей полости на плоскость смыкания полуформ; n – гнездность формы.

Способ определения величины F_0 приведен в разделе, посвященном основам конструирования пресс-кантов.

Во всех случаях целесообразно конструировать формы с минимально возможной массой. Особо важно соблюдение этого требования для тех типов раздувных установок, у которых полуформы перемещаются не только при их смыкании, но и при переводе с позиции приема заготовки на позицию раздува, причем последнее

перемещение выполняется с большой скоростью. Возникающие при этом инерционные силы вызывают износ подвижных элементов смыкания, пропорциональный массе формы.

Максимальное значение давления, возникающего в оформляющей полости формы при раздуве заготовки и последующем охлаждении отформованного изделия, не превышает давления, подаваемого на раздув воздуха, которое в сотни раз меньше давления расплава в оформляющих полостях прессовых и литевых форм (как правило, оно не превышает 0,5 МПа). Общий уровень напряжений в формообразующих деталях по этой причине намного ниже, и они в отличие от прессовых и литевых форм могут изготавливаться не только из инструментальных сталей, но и из других, менее прочных и вместе с тем более технологичных материалов: литьем из сплавов на основе алюминия (силуминов) и цинка (например, из сплава состава цинк + алюминий + медь); формованием из высоконаполненных реакционноспособных композиций; образованием формообразующей поверхности методом гальванопластики или плазменного напыления.

Для калибровки горловины изделия используют раздувные ниппели (рис. 4.103) двух типов: гладкие цилиндрические (рис. 4.103, а) или ступенчатые (рис. 4.103, б). В обоих случаях предотвращается утечка воздуха из раздувной заготовки. В первом случае ниппель обжимается пресс-кантом 2 по его периметру, в другом – выступ ниппеля обжимается горловинной частью раздувной формы 4.

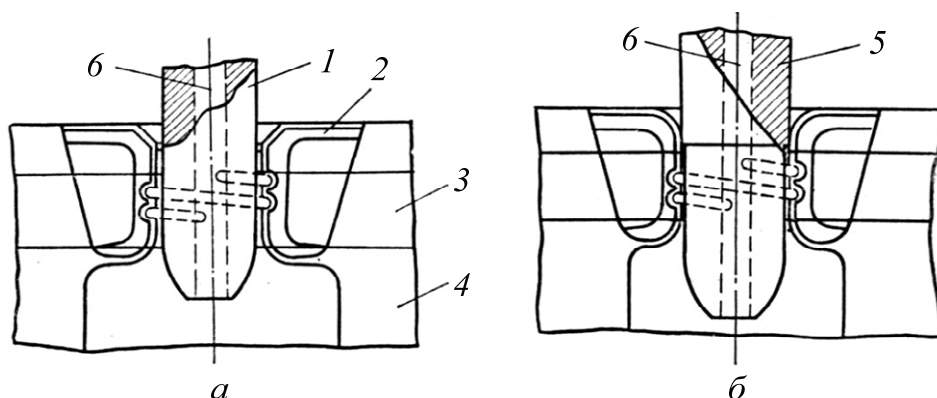


Рис. 4.103. Схема калибровки горлышка бутылки:
1 – дорн; 2 – пресс-кант; 3 – резбовой вкладыш;
4 – оформляющая полость формы; 5 – ступенчатый дорн;
6 – воздушный канал

При раздуве через ниппель он, как правило, также является и формообразующей деталью: его наружная поверхность оформляет внутреннюю цилиндрическую поверхность горловины изделия. В простейшем случае ниппель – это цилиндрический стержень с центральным отверстием для подачи воздуха в раздуваемую заготовку. Ниппель, формируя заготовку, должен, так же как и полуформы, отводить от нее тепло. Интенсивность охлаждения заготовки в область ниппеля должна быть не ниже, чем в области контакта с полуформами. Это возможно только при введении в тело ниппеля каналов водяного охлаждения.

Воздух, подаваемый в заготовку через ниппель, остается в отформованном изделии в течение всего времени его охлаждения в форме.

Масса этого воздуха невелика, и поэтому вклад теплообмена между воздухом и изделием в охлаждение последнего практически неощутим. Для увеличения этого вклада обеспечивают постоянный интенсивный обмен воздуха в полости охлаждаемого изделия. При этом через ниппель воздух должен не только подаваться, но и выводиться. Конструкция такого ниппеля, имеющего водяное охлаждение, показана на рис. 4.104. Конец ниппеля конический, что повышает надежность надевания на него экструдированной заготовки в том случае, когда разность между ее внутренним диаметром и диаметром ниппеля невелика.

В месте обжима заготовки по ниппелю пресс-кантами полуформ в его теле возникают значительные напряжения, поэтому деталь ниппеля, непосредственно контактирующая с заготовкой, должна изготавливаться из конструкционных сталей и подвергаться термохимической обработке.

При определении размеров элементов оформляющих поверхностей необходимо учитывать усадку размеров отформованного изделия, которая развивается во время охлаждения его в форме.

Качество раздувного изделия в значительной мере определяется конструкцией пресс-кантов и зажимных карманов. Длину пресс-кантов и объем зажимных карманов

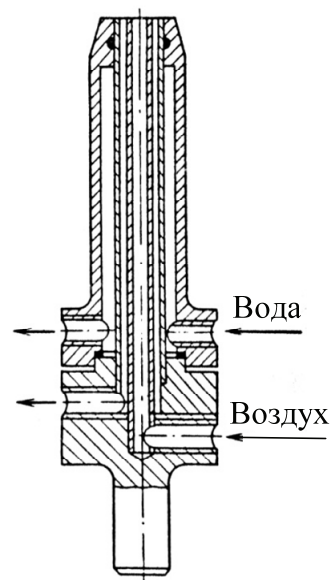


Рис. 4.104. Раздувной ниппель, охлаждаемый водой

следует выбирать так, чтобы при закрытии формы не образовывалась пленка в плоскости разъема формы. Сварные кромки не должны быть острыми, их ширина выбирается в зависимости от вида перерабатываемого материала, толщины стенки изделия, величины зажимного угла, скорости и усилия запираения формы.

В местах пресс-кантов, осуществляющих пережим заготовки, возникают локальные напряжения, во много раз превосходящие по величине напряжения от раздувающего воздуха в основном теле формы. Пресс-канты, таким образом, так же как и ниппель, оказываются наиболее нагруженными элементами формы, подверженными интенсивному износу. Они работают удовлетворительно лишь в том случае, если изготовлены из качественных инструментальных сталей и подвергнуты термической обработке, обеспечивающей твердость до 50–55 единиц по Роквеллу. Как уже отмечалось, формообразующие детали, как правило, изготавливают из других, менее прочных материалов. В связи с этим пресс-канты выполняются в виде самостоятельных деталей, укрепляемых на полуматрицах. Они могут изготавливаться как в виде плит, укрепляемых внакладку на полуматрицу, так и в виде вставок в нее.

Основным рабочим органом пресс-канта является отжимная кромка, отделяющая излишки заготовки от формирующего изделия. При правильно выбранной ее геометрии обеспечиваются не только прочность изделия в месте отделения этих излишков (облоя), но и минимальная толщина перемычки (грата) между изделием и облоем.

На рис. 4.105 показана заготовка в момент начала пережима ее пресс-кантами.

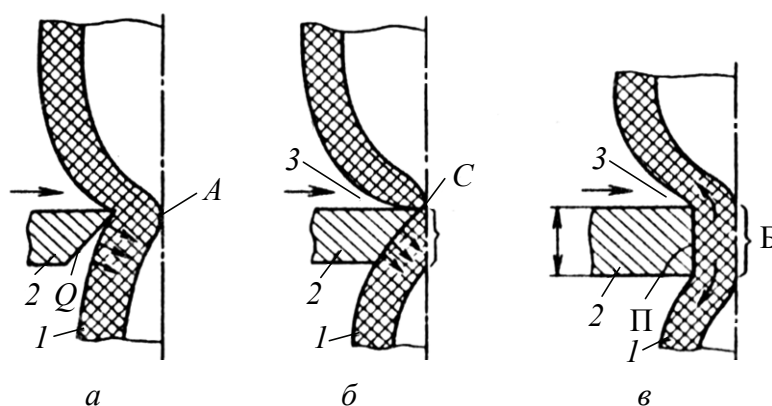


Рис. 4.105. Заготовка в момент начала пережима пресс-кантами

В этот момент возникает контакт между противоположными стенками заготовки в месте A . При дальнейшем сближении пресс-кантов боковые поверхности Q отжимают материал деформируемой заготовки в направлении, показанном стрелками, и поверхность контакта и сварки противоположных стенок заготовки развивается вниз от точки A . Таким образом, к моменту полного перерезания заготовки (рис. 4.105, б) область сварки стенок заготовки C оказывается практически полностью в облое, а не в изделии, как это необходимо.

Очевидно, конфигурация кромок должна быть такой, чтобы образующаяся область сварки хотя бы частично отжималась в оформляющую полость. Это возможно, например, при плоской конфигурации кромок, показанной на рис. 4.105, в. Однако в этом случае для отжима в сварной шов изделия достаточного количества расплава область деформации его между кромками B должна быть большой; соответственно большой должна быть и ширина кромок h . При этой величине h напряжения сжатия расплава между кромками, создаваемые усилием смыкания полуформ, невелики, и расплав истекает из области B с малой скоростью. Процесс пережата заготовки по этой причине длителен, и за время его протекания на рабочей поверхности Π холодной отжимной кромки успевает отвердеть достаточно толстый слой материала, который не может быть отжат из области B и образует толстый грат.

Установленные здесь, казалось бы, взаимно противоречивые требования больших контактных напряжений в области пережима заготовки и вместе с тем большой площади пережима удовлетворяются при конфигурации пресс-кантов, показанной на рис. 4.106. Собственно отжимная кромка имеет ширину h , равную 0,3–0,6 мм для относительно малых изделий (объемом до 2 л) и достигающую 4 мм для изделий емкостью более 100 л. Угол α лежит в пределах 25–45°. За отжимной кромкой расположено заглубление величиной e и высотой H , называемое карманом. Размер e принимают равным 0,8–0,9 от толщины стенки δ пережимаемой заготовки; высота же кармана H определяется общей конструкцией деталей пресс-кантов, однако для

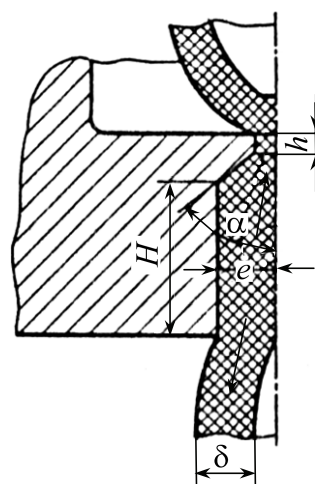


Рис. 4.106. Оптимальная конструкция пресс-кантов

образования удовлетворительного сварного шва на изделии она должна быть не менее $(5-6)\delta$.

Процесс пережатия заготовки при данной конфигурации пресс-кантов протекает следующим образом. На первой стадии пережатия заготовки с ней контактирует только узкая отжимная кромка и постепенно входящая в контакт наклонная поверхность. Площадь расположенной в пределах этого контакта зоны деформирования невелика, напряжения сжатия значительны, поэтому процесс пережима основной доли толщины заготовки протекает быстро, однако расплав из зоны деформирования отжимается преимущественно не в оформляющую полость (как следовало бы), а в карман (т. е. в облой). На завершающей же стадии, когда кромкой пережато уже 80–90% толщины заготовки (в зависимости от соотношения размеров e и δ), часть ее, образующая облой, входит в надежный контакт со сближающимися поверхностями кармана и начинает раздавливаться ими, причем расплав не только истекает из кармана в атмосферу (на рис. 4.106 – вниз) или в еще не занятую им часть полости кармана (на рис. 4.106 – в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа), но и в еще существующий зазор между кромками, составляющий пока $(0,1-0,2)\delta$ (на рис. 4.106 – вверх).

Гидравлическое сопротивление истечению в последнем направлении намного больше, чем в остальных, поэтому доля втекающего в оформляющую полость расплава, формирующего сварной шов на изделии, невелика, однако оказывается вполне достаточной, так как деформированию подвергается большой объем расплава. Скорость пережатия на этой завершающей стадии намного меньше, чем на предыдущей, так как напряжения сжатия расплава во много раз меньше. Однако суммарное время пережатия заготовки оказывается в итоге меньшим, чем в случае широких кромок по варианту на рис. 4.105, в, в результате чего получается достаточно тонкий грат.

Следует отметить, что карманы кроме основной своей функции – принятия в себя излишков формуемой заготовки и недопущения попадания их между плоскостями смыкания двух полуформ (в результате которого они не смогли бы смыкаться полностью) – выполняют еще одну, не менее важную функцию – охлаждения облоя. Если облой не охлаждать, то при съеме изделия из формы он, оставаясь в состоянии расплава и будучи соединен с изделием тонкой перемычкой грата, может прилипнуть к изделию, непоправимо

испортив его. Необходимость надежного контакта облоя с поверхностями кармана для обеспечения интенсивного отвода тепла – это еще одна причина, по которой глубину кармана e (см. рис. 4.106) делают несколько меньше, чем толщина заготовки δ .

Необходимое усилие пережима заготовки (или нескольких заготовок при многогнездных формах) F_0 можно рассматривать как сумму двух усилий F'_0 и F''_0 , необходимых для пережатия заготовки в области кромок и карманов соответственно. В настоящее время нет каких-либо расчетов, позволяющих достаточно точно определить F'_0 и F''_0 . Имеющиеся практические данные позволяют лишь ориентировочно считать, что если в процессе пережима между кромками возникает напряжение сжатия, близкое к 3 МПа, а в карманах облой сжимается при напряжениях около 0,4 МПа, то процесс пережима протекает с приемлемой скоростью и получаемая толщина грата допустима. Принимая во внимание эти соотношения, можно записать:

$$F_0 = F'_0 + F''_0 = 3s' + 0,4s'', \quad (4.73)$$

где s' и s'' – суммарные площади отжимных кромок и проекции облоя в карманах на плоскость смыкания соответственно.

Следует попутно отметить, что размеры карманов в плане принимают такими, чтобы их объем был несколько больше объема падающего в них облоя.

Пользуясь вышеприведенными соотношениями, можно выполнять поверочные расчеты при выборе гнездности формы или, если изделие достаточно крупное и сложной конфигурации (т. е. с большим облоем), то и определять принципиальную возможность изготовления данного изделия на имеющемся в наличии выдувном агрегате.

Для ряда изделий в соотношении к усилиям F'_0 и F''_0 должно добавляться еще одно слагаемое F'''_0 . Это изделия, у которых формируются монолитные выступы за счет пережима заготовки. Пример формования таким образом проушины с отверстием для установки в него какой-либо детали (например, ручки сосуда) приведен на рис. 4.107. Участок пережатой заготовки формирует выступ 1, причем часть его уходит в облой 6. Отверстие в выступе по варианту a на рис. 4.107 формируется знаком 2, запрессованным в отверстие в правой полуформе. Прошивая отверстие в выступе, выпрессовываемый им расплав 3 знак направляет в отверстие 4 левой полуформы, в которое он входит свободно. Охладившаяся выпрессовка 3 после раскрытия

полуформ удаляется из отверстия 4 сжатым воздухом, который подается через отверстие 5. По варианту б отверстие формируется двумя знаками 9 и 7, запрессованными в левую и правую полуформы и сближающимися при их смыкании. Остающийся в отформованном отверстии в месте сближения знаков 8 грат удаляется затем прошивкой или досверливанием.

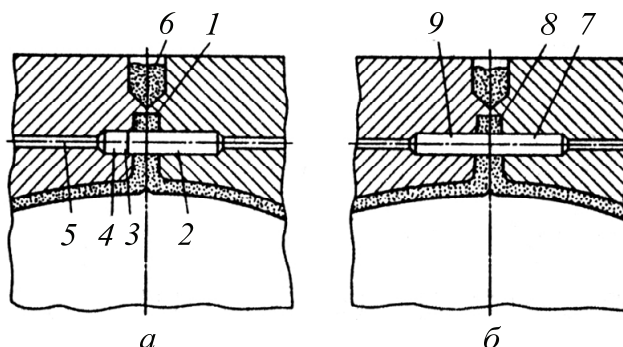


Рис. 4.107. Пример формирования проушины с отверстием

Напряжения сжатия, которые развиваются в расплаве при формировании подобных монолитных выступов и перемычек, должны быть не ниже 0,8–1,0 МПа. Таким образом, величина F_0''' определяется так:

$$F_0''' = (0,8-1,0)s''', \quad (4.74)$$

где s''' – площадь проекции формируемых выступов и перемычек на плоскость смыкания полуформ.

На качество изделия влияет температура формы, которая регулируется системой охлаждения. Конфигурация и технология изготовления каналов системы охлаждения определяются технологией изготовления формообразующих деталей. Если последние изготавливаются путем обработки резанием из сталей, то каналы выполняются так же, как и в литевых формах, т. е. в виде замкнутого контура сверленных отверстий или фрезерованных полостей. При изготовлении полуматриц заливкой в них заформовывается спрофилированный требуемым образом змеевик или применяются другие варианты систем.

Особо следует обратить внимание на охлаждение пресс-кантов. Время пребывания изделия в форме на этапе охлаждения очень часто определяется не временем охлаждения его стенки, как это может показаться на первый взгляд, а временем охлаждения облоя в карманах.

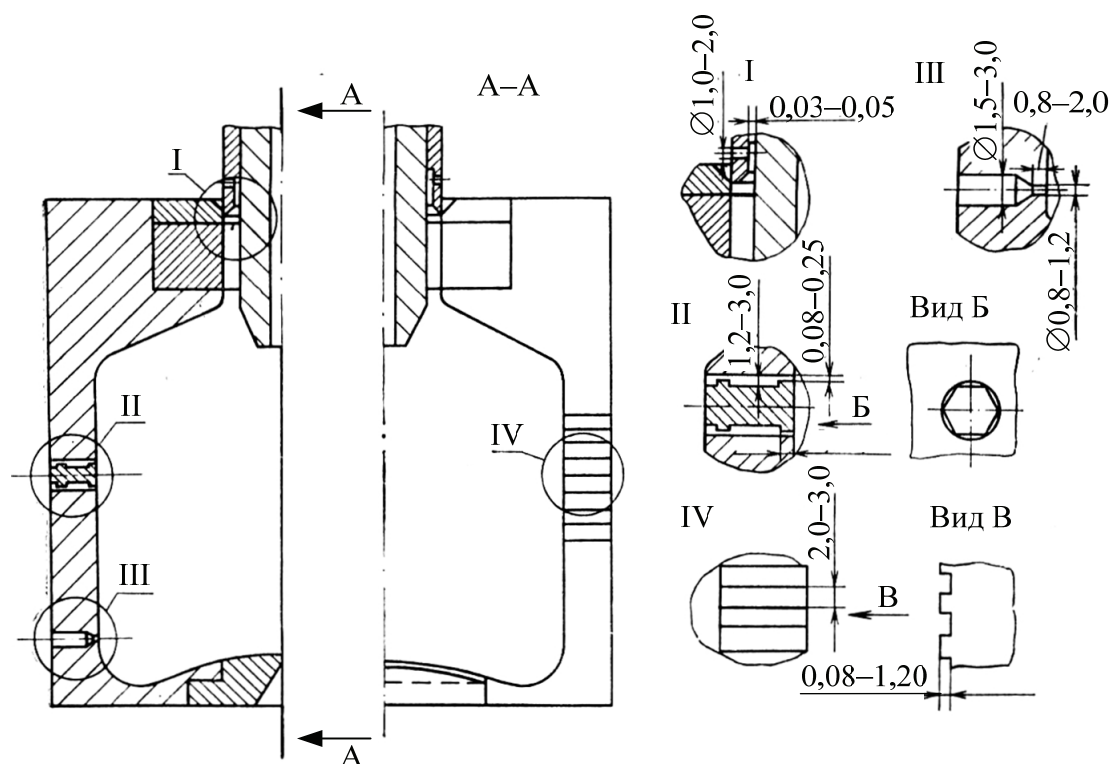


Рис. 4.108. Система размещения вентиляционных каналов в раздувной форме

Раздувные формы должны иметь вентиляционные каналы для вывода воздуха из пространства между раздуваемой заготовкой и оформляющей поверхностью формы. Система размещения вентиляционных каналов и их конструктивное исполнение приведены на рис. 4.108.

4.4. Оснастка для пневмовакуумного формования

4.4.1. Технологические разновидности формующего инструмента

Круг изделий, изготавливаемых методами пневмовакуумного формования из листовых и пленочных термопластов, достаточно широк. Диапазон их габаритов составляет от нескольких сантиметров

до 1,5–2 м. По конструкции эти изделия представляют собой оболочки в ряде случаев довольно сложной конфигурации с толщиной стенки от нескольких десятых до 6–8 мм.

Существующее большое количество технологических разновидностей пневмовакуумного метода не определяет, однако, большого принципиального конструктивного разнообразия соответствующего формующего инструмента. По этой причине ниже выделены только те его разновидности, которые имеют сколько-нибудь существенные различия в конструкции инструмента.

Различают методы свободного формования и формования на поверхностях формообразующих деталей форм. В первом случае изготавливают изделия типа сферических элементов (колпаков, плафонов и т. д.) и формообразующие детали у инструмента отсутствуют. Принцип этого метода проиллюстрирован на рис. 4.109.

На первой стадии (рис. 4.109, *а*) лист 1 зажимается между прижимной рамой 2 и пневмовакуумной камерой 3 и нагревается нагревателем радиационного обогрева 4 до высокоэластического состояния. Затем полость камеры 6 сообщается с вакуумом (рис. 4.109, *б*) и лист под воздействием разности атмосферного и остаточного в камере давлений воздуха втягивается в нее.

При переработке листов толщиной более 5 мм атмосферного давления на лист оказывается недостаточно для его качественного формования. По этой причине атмосферное давление заменяют повышенным давлением воздуха (до 0,7–1 МПа), подаваемого от компрессора. В этом случае в варианте, показанном на рис. 4.109, после отвода нагревателя 4 на прижимную раму сверху герметично крепится крышка пневмовакуумной камеры (на рисунке не показана) и наряду с сообщением полости под листом с вакуумом в пространство между крышкой и листом подается сжатый воздух.

Различают две разновидности метода формования на поверхностях формообразующих деталей: негативное и позитивное.

При негативном формовании формообразующей деталью является матрица. Она имеет вогнутую формующую поверхность, причем формируемое изделие полностью воспроизводит ее контуры своей наружной поверхностью. Эту разновидность также можно проиллюстрировать рис. 4.109, если представить, что под позицией 3 на нем изображена матрица.

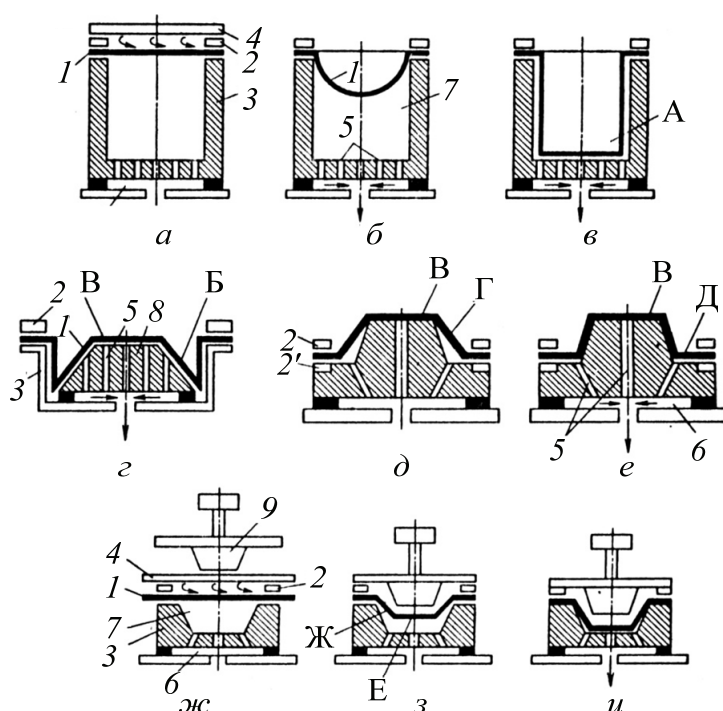


Рис. 4.109. Технологические разновидности пневмовакуумного формования:

а–в – негативное; *г* – позитивное; *д, е* – позитивное с предварительной механической вытяжкой;
ж–и – негативное с предварительной механической вытяжкой;

1 – формующий лист; *2, 2'* – прижимная рама;
3 – пневмовакуумная камера (матрица); *4* – нагреватель;
5 – вентиляционные каналы; *6* – вакуумная полость камеры *3*; *7* – оформляющая полость матрицы; *8* – пуансон

В этом случае воздух из оформляющей полости матрицы *7* через систему вентиляционных каналов *5* отсасывается вплоть до полного облегания формующим листом *1* ее формующей поверхности (позиция *в* на рис. 4.109). Отформованное изделие охлаждается преимущественно за счет контакта со стенкой холодной матрицы. В связи с этим в матрицах (так же, как и в пуансонах) часто выполняют систему водяного охлаждения. При формовании же толстых листов с целью интенсификации охлаждения иногда изделие во время пребывания его в охлаждаемой матрице (на пуансоне) дополнительно обдувают холодным воздухом. Эта операция обязательна, если матрица (пуансоны) не имеет системы охлаждения; в этом случае после извлечения изделия из формы обдувают

воздухом и формообразующую деталь, что, однако, удлиняет цикл формования.

Позитивное формование отличается от негативного тем, что формообразующая деталь (пуансон) имеет выпуклую формующую поверхность, причем изделие воспроизводит ее не наружной, а внутренней своей поверхностью. При этой разновидности формования (см. рис. 4.109, *з*) лист *1* зажимается между рамой *4* и пневмовакуумной камерой *3* и нагревается так же, как и в предыдущих разновидностях. Однако в камере в данном случае помещен пуансон *8*, имеющий, как и матрица, вентиляционные каналы *5*.

Как при негативном, так и при позитивном формовании непосредственно перед прижатием к формообразующей поверхности (посредством атмосферного или избыточного давления воздуха) разогретый лист может подвергаться вытяжке механическим способом до контуров, близких к контурам будущего изделия. Эта разновидность метода называется формованием с предварительной механической вытяжкой. При позитивном формовании эта разновидность может быть реализована так, как это показано на рис. 4.109, *д*, *е*. Зажатый в раме (состоящей в данном случае из двух половин *2* и *2'*) и разогретый лист опускается на пуансон (или, наоборот, пуансон поднимается вверх) и предварительно вытягивается им (поз. *д*); затем уже полость и вентиляционные отверстия *5* сообщаются с вакуумом и происходит собственно формование (поз. *е*). При негативном же формовании механическая вытяжка осуществляется специальным вытяжным пуансоном *9*, имеющим самостоятельный привод. Сущность и последовательность технологических операций в этом варианте формования ясны из позиций *ж*, *з*, *и* на рис. 4.109.

Съем готовых изделий с матрицы или пуансона можно осуществлять вручную. При этом изделие последовательно по контуру отделяют от формообразующей детали, приподнимая его за края заготовки листа, которые были зажаты рамой. Для облегчения снятия через вентиляционные отверстия формообразующей детали часто подают сжатый воздух, отслаивающий от нее изделие. Однако ручной съем имеет много очевидных недостатков. Во-первых, он затруднен при формовании на пуансонах из-за плотного охвата пуансона изделием вследствие усадки материала последнего при охлаждении. Во-вторых, возможны механические

повреждения формующей поверхности. В-третьих, ручной съем значительно изменяет цикл формования. Наконец, в-четвертых, в высокоавтоматизированных линиях, в состав которых входят установки для пневмовакуумного формования, ручной съем просто недопустим. В связи с этим форму часто оснащают системой выталкивания изделия. Конструкции ее разнообразны, примеры показаны ниже.

После формования от изделия должен быть отделен облой: та часть заготовки листа, которая была зажата в раме или не «вписывается» в контур изделия. Для этого используют вырубные штампы и приспособления. Часто они выполняются как единая конструкция вместе с формой, и работа их жестко увязана с рабочими движениями других элементов конструкции формы. В этом случае данные устройства можно рассматривать как систему удаления облоя формы. Усилие вырубки довольно значительно, поэтому формы с системой удаления облоя, как правило, эксплуатируются на прессах, по конструкции подобных таковым для прессования изделий из реактопластов.

Так же, как прессовые, литьевые и раздувные, пневмовакуумные формы могут быть одногнездными и многогнездными. Последние часто применяют для формования мелкой тары из тонких листов на автоматических установках.

Таким образом, можно отметить, что рабочие органы пневмовакуумных форм, в зависимости от технологической разновидности метода и конкретных условий его реализации, могут включать в себя пневмовакуумную камеру, зажимную раму, формообразующую деталь, систему удаления облоя.

4.4.2. Факторы, определяющие выбор конструкции формы

Как видно из предыдущего раздела, в процессе проектирования инструмента при заданном для производства изделия должны быть решены следующие принципиальные вопросы: 1) тип формования (пневматический или вакуумный); 2) позитивное или негативное формование; 3) необходимость предварительной механической вытяжки; 4) гнездность формы; 5) материал формообразующих деталей и технология их изготовления; б) необходимость встроенной

системы охлаждения формы; 7) необходимость системы выталкивания; 8) вариант системы удаления облоя.

Конструктор должен иметь четкое представление о факторах, которые обуславливают то или иное решение по каждому из этих пунктов, определяющих принципиальное конструктивное оформление инструмента. Основные из этих факторов таковы: 1) требования к конфигурации изделия; 2) требуемые серийность изделия и производительность; 3) имеющееся в наличии оборудование; 4) стоимость.

Наиболее существенными являются три аспекта **конфигурации изделия: толщина стенки** изделия (и, следовательно, толщина формующего листа); выбор поверхности изделия, которая должна иметь **лучшее качество** (большую точность размеров и, если необходимо, поверхностные рисунок или фактуру); **предпочтительный характер разнотолщинности** стенок изделия (разнотолщинность при этом методе формования, как показано ниже, неизбежна).

Толщина стенки изделия, как уже отмечалось выше, определяет решение по первому из указанных вопросов: при толщине формующих листов более 5 мм должно применяться пневматическое формование; при этом пневмовакуумная камера машины (или автономная пневмовакуумная камера) должна быть рассчитана на развитие давления в ней до 1 МПа и наряду с зажимной рамой иметь крышку с устройством для подвода сжатого воздуха. Следует учесть также, что если формующая поверхность матрицы или пуансона имеет тонкую текстуру или мелкий объемный рисунок, который должен быть перенесен на изделие, то предпочтительно применение пневматического метода и при формовании листов с толщиной меньше 5 мм.

Позитивное или негативное формование выбирается в соответствии со вторым аспектом рассматриваемого фактора: если отмеченные здесь требования предъявляются к внутренней поверхности изделия, то принимается формование на пуансоне, и наоборот. При отсутствии таких четко выраженных требований следует иметь в виду, что изготовление пуансонов механической обработкой и их поверхностная обработка (обычно шлифовка до $Ra\ 0,100\text{--}0,025$) более просты, чем матриц. *При формовании в матрице усадка несколько больше*, чем при формовании на пуансоне; к тому же она имеет большую неоднородность для различных размеров одного

и того же изделия. Это объясняется тем, что сам пуансон препятствует развитию усадки. Вместе с тем следует помнить, что съём изделия с пуансона требует больших усилий, так что если формообразующие детали выполнены из относительно малопрочного материала (например, из гипса), то повышенный износ имеет место именно у пуансона.

Третий аспект – предпочтительный характер разнотолщинности – также руководит выбором позитивного или негативного формования и позволяет определить необходимость предварительной механической вытяжки. *Чем меньше степень вытяжки листа (H/D), т. е. чем менее глубокое изделие и чем больше радиус кривизны поверхности изделия в местах его, формируемых в последнюю очередь, тем менее разнотолщинным получается изделие.* При негативном и позитивном методах максимально допустимая степень вытяжки, как правило, не превышает 0,5, при больших ее значениях вследствие чрезмерной разнотолщинности листа не исключены разрывы его в наиболее тонких местах в процессе вытяжки.

Требуемые серийность изделия и производительность являются определяющими при выборе гнездности формы, материала и технологии ее изготовления, а также при установлении рациональной степени механизации вспомогательных операций, которая должна обеспечиваться конструкцией формы или проектируемой совместно с ней дополнительной оснасткой.

Гнездность n непосредственно определяется той производительностью Q , которая должна быть обеспечена. Очевидно, что фактическая производительность, получаемая на данной форме, должна быть не менее требуемой Q :

$$n / t_{\text{ц}} \geq Q, \quad (4.75)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла формования (точнее, время цикла работы формы).

Это время с достаточной степенью точности может быть спрогнозировано по аналогии с близкими случаями формования (например, с такой же толщиной листа из того же материала на той же вакуум-формовочной установке при форме, изготовленной из того же материала). При определении значения гнездности n по приведенному выше условию может возникнуть ситуация, при которой это значение окажется большим, чем максимально допустимая величина $n_{\text{д}}$ по какому-либо иному фактору (например, по фактору

имеющегося в наличии оборудования). В этой ситуации конструктор с целью достижения условия $n \leq n_d$ может принимать такие решения по конструкции формы, которые приведут к уменьшению $t_{ц}$ и, следовательно, к уменьшению n . Например, может быть принято решение изготовить форму из более теплопроводного материала по сравнению с принятым аналогом (например, из алюминия вместо полимерной композиции) или решение оснастить форму системой охлаждения, которой не было у формы-аналога.

При выборе предпочтительного из технически возможных вариантов включается в работу еще один фактор: *экономический*. Предпочтительным является тот вариант, который обеспечивает наименьшую себестоимость изделия. Предпочтительность какого-либо варианта с этой точки зрения очевидна с первого взгляда далеко не всегда. В связи с этим конструктор должен уметь провести на стадии проектирования формы ориентировочную оценку себестоимости будущего изделия, для чего необходимо систематически накапливать экономические данные, получаемые в ходе освоения производства изделий с тем, чтобы использовать их в качестве аналогов при проведении этой оценки.

На этой предварительной, прогнозной стадии расчета себестоимости C достаточно учитывать лишь три основных ее составляющих: стоимость материала (включая и отходы), приходящуюся на изготовление одного изделия, C_m ; доля заработной платы основного рабочего, приходящаяся на изготовление одного изделия, $C_{з.п}$; доля стоимости формы и комплектующей ее оснастки, приходящаяся на одно изделие $C_{ф}$.

$$C = C_m + C_{з.п} + C_{ф}. \quad (4.76)$$

На первое слагаемое самое существенное влияние оказывает степень плотности взаимного расположения гнезд в форме, зависящая от разновидности формования, так как именно от нее зависит относительное количество отходов материала после вырубки готовых изделий из листа. Второе же слагаемое – это, по существу, трудозатраты на изготовление одного изделия, которые уменьшаются пропорционально росту степени механизации и автоматизации вспомогательных операций и, следовательно, росту степени сложности (и стоимости) конструкции инструмента и сопутствующей оснастки; уменьшаются они также пропорционально росту производительности машины (или сокращению времени цикла

формования), если машина работает в автоматическом режиме. Серийность изделия существенно влияет только на третье слагаемое формулы.

Пример конструкции формы для негативного пневмоформования, целесообразной при серийностях порядка $(1-8) \times 10^4$ шт., показан на рис. 4.110.

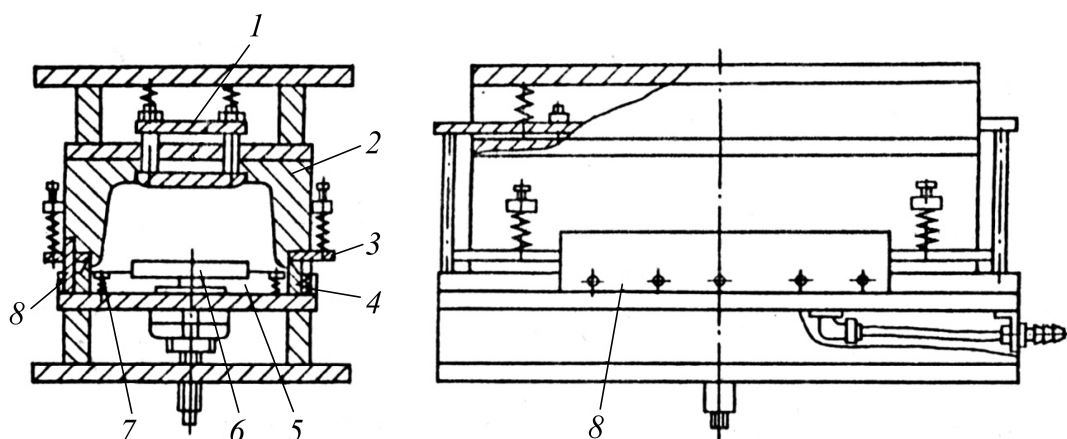


Рис. 4.110. Схема формы для среднесерийных изделий:

- 1 – механизм выталкивания; 2 – матрица; 3 – плита прижима листа во время вырубki при смыкании и сталкивания облоя при размыкании;
4 – прижимная рама с вырубными ножами; 5 – пневмокамера;
6 – вытяжной пуансон; 7 – выталкиватели изделия; 8 – направляющие

В форме осуществляются предварительная механическая вытяжка листа пуансоном 6, вырубка изделия из листа ножами 4, независимое выталкивание из формы изделия (механизмом выталкивания 1 и съемным устройством 2) и облоя (подпружиненной плитой 3). Форма спроектирована для работы на прессе, причем верхняя полуформа с матрицей 2 крепятся к подвижной плите прессы, нижняя полуформа – к столу его, а шток вытяжного пуансона – к плунжеру нижнего, выталкивающего гидроцилиндра. При серийностях, больших указанной, целесообразно дополнительно к этой форме проектировать (и эксплуатировать) механизмы автоматической подачи разогретых заготовок и съема готовых изделий (и отделения облоя).

В заключение раздела можно отметить, что первые два из четырех рассмотренных факторов (конфигурация изделия, серийность и производительность) являются главными, направляющими

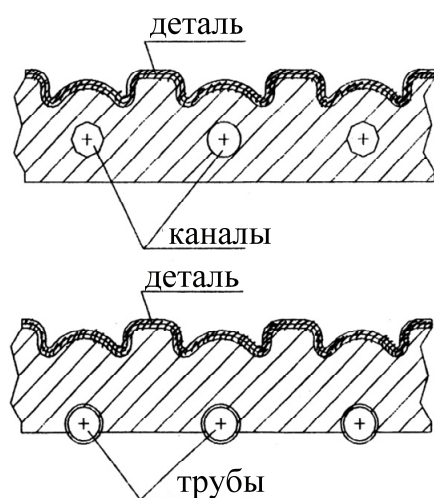


Рис. 4.111. Метод непосредственного термостатирования

выбор конструктора. Третий фактор – имеющееся в наличии оборудование – фактор лимитирующий, ограничивающий возможности принятия конструктором того или иного решения. Четвертый фактор – себестоимость изделия – оказывается существенным только при необходимости выбора предпочтительного варианта из двух или более технически осуществимых.

Для получения качественной детали одним из важнейших условий является термостатирование формы, т. е. поддержание необходимой температуры. При термостатировании в качестве среды используется вода.

Поддержание необходимой температуры воды осуществляется специальным устройством – термостатом, который подключается к форме.

Термостат состоит из нагревателя, теплообменника или холодильника, насоса и датчика температуры. Установленная температура воды (соответственно формы) обеспечивается первоначально нагревом, затем в процессе формования охлаждением, т. к. температура формы (для внутренних шкафов холодильников, например) должна быть равной 90–95°C, а температура формируемой детали – 160–180°C.

Форма термостатируется двумя методами: непосредственно и косвенно.

Непосредственное термостатирование. Этот метод является наиболее эффективным т. к. термостатирование осуществляется через систему каналов или труб, которая вмонтирована непосредственно в форму (рис. 4.111).

Диаметр каналов или труб и их количество должно обеспечивать эффективное охлаждение или нагрев формы.

Косвенное термостатирование. Этот метод является менее эффективным т. к. термостатирование осуществляется через плоскость контакта между термостатированной плитой и монтируемой на ней формой (рис. 4.112). В этом случае большое значение имеет площадь контакта, шероховатость поверхностей контакта, теплопроводность материалов.

Преимущества термостатированных форм:

- минимальное количество брака при запуске;
- короткий цикл формования детали;
- стабильность процесса формования детали.

Отверстия и щели для вакуума на вакуум-форме. Количество, диаметр отверстий и ширина щелей должны быть достаточными для быстрого отвода воздуха. В то же время они не должны оставлять следов на детали.

Применяются следующие диаметры отверстий:

- 0,8–1,0 мм при формовании деталей из АБС и ПС при толщине заготовки детали 4,0–5,0 мм (шкафы внутренние),
- 0,5–0,6 мм при формовании деталей из АБС и ПС при толщине заготовки детали 1,8–2,0 мм (панели внутренние).

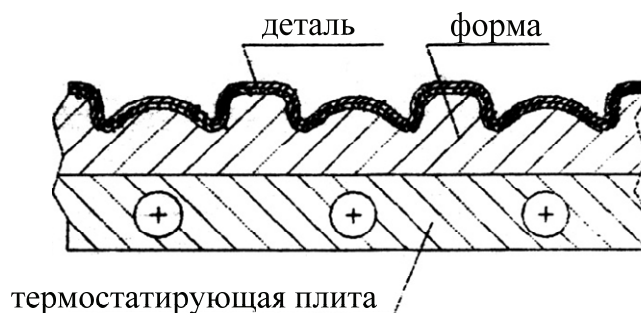


Рис. 4.112. Метод косвенного термостатирования

Больше отверстий выполняется в занижениях и впадинах, меньше – на плоскостях. Допускается отверстия не выполнять на углах позитивных форм. На стыках элементов формы могут выполняться щели для отвода воздуха. Применяются щели шириной 0,2–0,5 мм. Отводные каналы для воздуха не должны создавать дросселирования, т. е. сечение каналов к вакуумному насосу не должно уменьшаться.

4.4.3. Формообразующие детали

Усилия, возникающие в формообразующих деталях пневмовакуумных форм, существенно (в 3–5 раз) меньше, чем в раздувных формах. Только при пневматическом формовании общая интенсивность

напряженного состояния этих двух типов форм практически одинакова. В связи с этим при изготовлении матриц и пуансонов пневмовакуумных форм используют все типы материалов и технологий, описанных в предыдущей главе. Для изготовления матриц и пуансонов можно применять более технологичные материалы: дерево и гипс.

При столь широком наборе возможных материалов и технологий их формования выбор того или иного из них определяется преимущественно стойкостью формообразующих деталей, которая должна быть предпочтительно большей, чем серийность изделия. Значения стойкости форм (число циклов формования) из этих материалов приведены ниже:

Дерево	До 500
Гипс	50–100
Гипс, поверхностно пропитанный отверждаемыми смолами	До 10^4
Заливочные полимерные композиции	До $5 \cdot 10^4$
Сплавы цветных металлов	Неограниченна
Гальванополимерные и гальванобетонные конструкции	Неограниченна
Стали	Неограниченна

Как видно из приведенных выше данных, сколько-нибудь заметного износа формообразующих деталей из цветных сплавов и сталей при любых сколь угодно больших реальных серийностях обнаружить не удастся.

Дерево применяется при производстве малых серий изделий и для изготовления единичных (например, опытных) образцов. Так как формообразующие детали подвергаются нагреву со стороны формируемого листа, то во избежание выделения смолы на формообразующую поверхность применяют только лиственные породы дерева. При изготовлении форм необходимо учитывать, что древесина дает разную усадку вдоль и поперек волокон. На практике это затрудняет получение изделий с размерами, требующими большой точности. Формы во избежание их коробления и растрескивания делают не из монолитного куска, а из блоков, выполненных послойным склеиванием относительно тонких плит или брусков с послойно-перекрестным расположением волокон. Для улучшения износа

деревянные формы часто покрывают эпоксидными смолами с последующими шлифовкой и полировкой.

Большой недостаток дерева – его низкая теплопроводность. Длительная непрерывная (без выстоев) работа формы невозможна из-за ее нагрева и очень большого возрастания времени охлаждения изделия. Необходимо один раз за 5–7 циклов формования обдувать деревянную форму с помощью вентилятора или воздушного пистолета, которыми, как правило, оснащаются универсальные пневмовакуумные машины.

Гипсовые формы изготавливают отливкой по моделям из глины, гипса, пластилина, дерева, металла или по оригиналу изделия. Возможно упрочнение поверхности гипсовых форм полимерными смолами, однако при этом гипс у поверхности теряет ценное в данном случае свойство – пористость. Благодаря пористости значительная часть воздуха, отсасываемого из пространства между формируемым листом и формообразующей поверхностью, может удаляться непосредственно через тело формы, а не через вентиляционные отверстия, число которых может быть значительно сокращено. Необходимо также иметь в виду, что деревянные формообразующие детали предпочтительнее гипсовых, если они имеют отдельные относительно тонкие элементы. Из-за малой прочности гипса при изгибе эти элементы, как правило, недолговечны.

Вентиляционные каналы в теле гипсовых форм выполняются в процессе отливки этих форм введением в нужных местах в залитый уже в опоку (но еще не отвердевший) раствор тонких штырей с нанесенным на них разделительным слоем.

Второй по значимости фактор, определяющий выбор материала формы, – это планируемая интенсивность работы ее, оцениваемая долей времени контакта охлаждающегося изделия с формообразующей поверхностью в общем времени цикла работы формы. Очевидно, что чем выше интенсивность работы формы, тем более интенсивным должен быть отвод от формы тепла, поступающего в нее от охлаждаемого изделия. Интенсивность же работы определяется, во-первых, габаритами изделия и используемым для формования оборудованием (конкретнее – реализованной на нем степенью механизации и автоматизации вспомогательных операций), во-вторых, требуемой производительностью по данному изделию.

Крупногабаритные изделия (например, внутреннюю облицовку двери холодильника) обычно изготавливают на универсальных машинах, причем после формования и охлаждения изделия форма имеет достаточно длительный выстой, в течение которого выполняют снятие изделия из зажимной рамы, установку в нее и нагрев нового листа. За время этого выстоя даже деревянные и гипсовые формы успевают охлаждаться естественным путем; во время нагрева листа возможен также обдув его воздухом.

При формовании мелких изделий из тонких рулонов материалов на автоматизированных линиях доля выстоя форм в общем цикле их работы может быть очень малой. Формы могут работать в этом режиме, только если они выполнены из металла и оснащены системой водяного охлаждения. При конструировании многогнездных форм с целью минимизации отходов листа, образующихся после вырубки из него отформованных изделий, необходимо стремиться к максимально плотному расположению гнезд. Достигаемые попутно минимальные материалоемкость и габариты формы являются в данном случае (в отличие от прессовых и литевых форм) менее значимыми факторами.

На рис. 4.113 и 4.114 показаны элементы конструкции многогнездных форм для позитивного и негативного формования. При позитивном формовании формуемый лист втягивается в пространство между пуансонами I (рис. 4.113), причем вследствие значительной разности расстояния между гнездами в различных точках по их периметру (сравните, например, расстояния a и b в виде Б) степень вытяжки той части листа, которая формует боковины изделия, также существенно неоднородна: максимальное значение степени вытяжки имеет место в окрестности размера a , минимальное – в окрестности размера b . Это приводит к значительной поперечной разнотолщинности боковин изделия и часто к образованию складок на листе, а следовательно, на изделии. Уменьшение разности расстояния a и b возможно только путем увеличения расстояния между гнездами.

Практикой установлено, что отмеченные дефекты исчезают, если размер a принимается равным или большим характерного размера изделия D (см. вид. Б). Однако очевидно, что при этом отходы листа могут достигать 80%, что совершенно недопустимо.

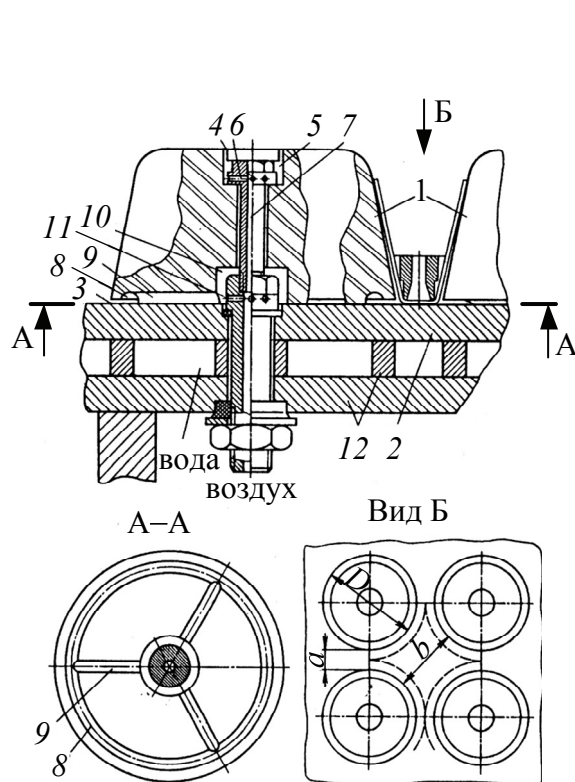


Рис. 4.113. Форма для позитивного формования

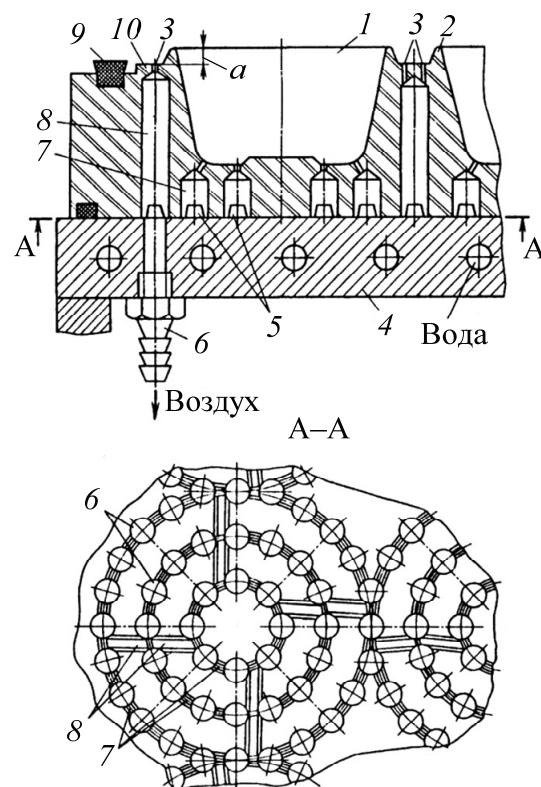


Рис. 4.114. Форма для негативного формования

Устранение рассмотренных здесь недостатков при минимальных расстояниях между гнездами возможно только при равномерной по всему периметру будущих изделий предварительной механической вытяжке листа. Элементы для вытяжки листа могут крепиться на зажимной раме так, как это показано на рис. 4.115. Рамами подобной конструкции оснащаются автоматические установки для переработки рулонных листовых материалов. Рама расположена непосредственно над формой и имеет возможность вертикального перемещения. В исходном состоянии два зажимных элемента рамы 1 и 2 находятся в разведенном состоянии, и в пространство между ними поступает очередная порция разогретого листа 3. Верхний элемент 2, опускаясь, вместе с элементом 1 зажимает лист по его периметру. Далее они опускаются совместно, при этом лист входит в контакт с вершинами пуансонов, а соосные с ними вытяжные кольца 4 вытягивают лист до тех пор, пока своими рабочими торцами 5 не прижмут лист к плите пуансонов (поз. 2 на рис. 4.113); это положение колец с листом показано на рис. 4.113 тонкими линиями. Входя в контакт с листом уже на начальных стадиях его вытяжки,

холодные кольца образуют у него по месту контакта кольцевые пояски охлажденного и, следовательно, малодеформативного материала. Эти пояски препятствуют вытяжке тех участков листа, которые охвачены штриховой линией на виде Б (рис. 4.113). В результате однородной осесимметричной вытяжке подвергается только та часть листа, которая формирует изделие.

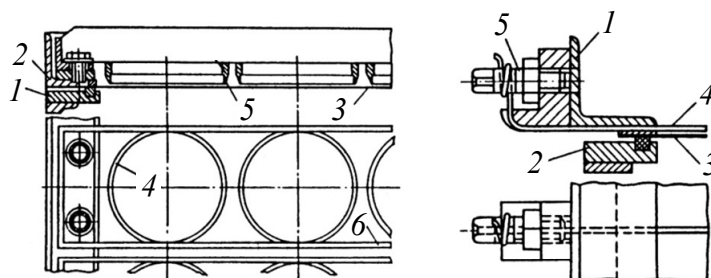


Рис. 4.115. Крепление листа на зажимной раме

При использовании подобных вытяжных устройств минимально возможное расстояние между гнездами, как видно из рис. 4.113, определяется лишь возможностью размещения вытяжных элементов между пуансонами при прижатии листов к плите пуансонов.

При негативном формовании могут возникнуть подобные же дефекты изделий. И в этом случае области листа, которые не должны участвовать в формовании изделия (подобные тем, которые отмечены штрихами на рис. 4.113), исключаются из процесса вытяжки, однако это достигается без каких-либо дополнительных устройств. По периметру каждой формирующей полости 1 матрицы (см. рис. 4.114) выполнены разделительные канты 2, имеющие незначительное превышение $a = 2-5$ мм над неформирующей поверхностью матрицы 10. При отсутствии кантов в процессе вытяжки листа в оформляющую полость 1 может затягиваться часть листа, контактировавшая перед этим с неформирующей поверхностью 10. Эта переохлажденная часть листа плохо формируется в полости и может образовывать на изделии складки. Канты препятствуют затяжке в полость за счет перегиба листа на них. Перегиб листа на кантах и надежное прижатие его к неформирующей поверхности матрицы обеспечиваются откачкой воздуха не только из оформляющих полостей 1 (через отверстия 7), но и из пространства между листом и неформирующей поверхностью (через отверстия 3). Таким образом, при негативном формовании минимальное расстояние между гнездами определяется

возможностью размещения между ними разделительных кантов 2 и вакуумных отверстий 3 по параметру каждого гнезда.

Поднутрения обычно оформляются с использованием подвижных элементов (ползушек). Применяются два основных вида ползушек – поворотные (рис. 4.116) и линейного перемещения (рис. 4.117).

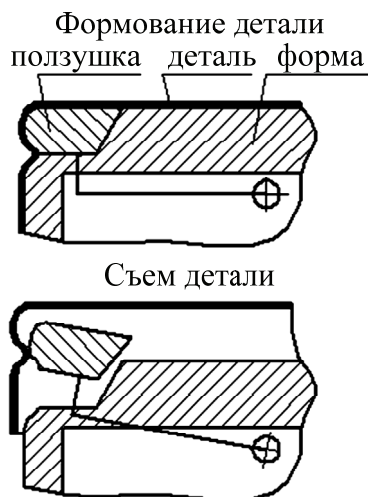


Рис. 4.116. Схема поворотной ползушки

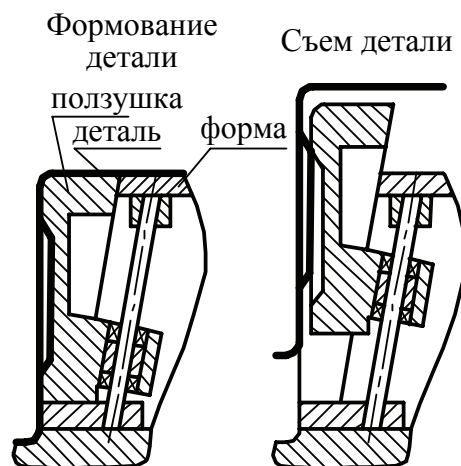


Рис. 4.117. Схема ползушки свободного линейного перемещения

Поворотные ползушки. При съеме деталь поворачивает ползушку вокруг оси и появляется возможность свободного снятия детали с формы.

Возврат ползушки в исходное положение, в зависимости от положения формы, может быть под собственным весом или принудительно, например пневмоцилиндром.

Для исключения деформации детали при съеме ползушку необходимо облегчать или делать ей разгрузку противовесом.

Ползушки линейного перемещения. Применяются два основных вида ползушек линейного перемещения – свободного и принудительного.

Ползушки свободного линейного перемещения. При съеме деталь перемещает ползушку под углом по направляющим и появляется возможность свободного снятия детали с формы.

Возврат ползушки в исходное положение, в зависимости от положения формы, может быть под собственным весом или принудительно, например пневмоцилиндром.

Для перемещения ползушки по направляющим используются шариковые сепараторы или бронзовые (латунные) вставки.

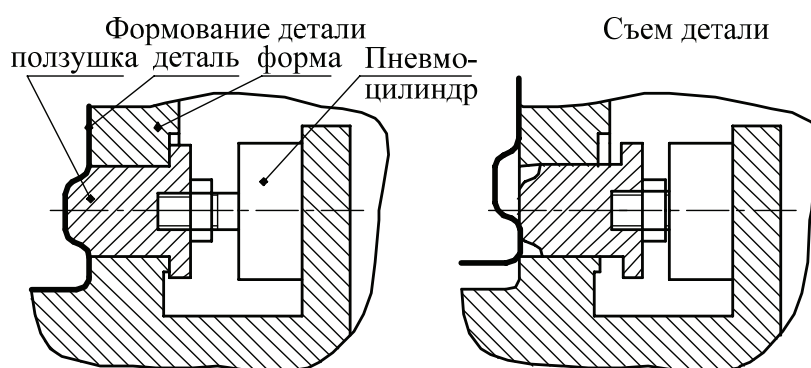


Рис. 4.118. Схема ползушки принудительного линейного перемещения

Ползушки принудительного линейного перемещения. Перед съемом детали привод (пневмоцилиндр) перемещает ползушку в тело формы и появляется возможность свободного снятия детали. Перед следующим циклом формования ползушка приводом возвращается в исходное положение (рис. 4.118).

4.4.4. Вентиляционные каналы

При проектировании формы приходится решать четыре основных вопроса о выборе:

- типа каналов (цилиндрические отверстия или щели);
- мест расположения каналов;
- размера каналов;
- числа каналов.

Конструктивно вентиляционные каналы могут быть выполнены в виде цилиндрических отверстий 7 (см. рис. 4.114) и щелей малой ширины 3, 4 (см. рис. 4.114), по конфигурации повторяющих очертания изделия и выполненных в местах стыка отдельных элементов его поверхности с целью уменьшения заметности оставляемых на изделии следов. Выполнение каналов в виде щелей предпочтительно, поскольку при той же суммарной площади поперечного сечения они имеют примерно на 30% меньше гидравлическое сопротивление эвакуируемому из формы воздуху.

Располагаются каналы (как и в раздувных формах) во избежание образования замкнутых полостей, откуда воздух не может быть удален, в тех местах оформляющей полости, которые входят в контакт с формируемым листом в последнюю очередь: в местах углов будущего

изделия и переходов его поверхности (отверстия 7 на рис. 4.114 и 3 на рис. 4.113). В ряде случаев требуются дополнительные каналы на больших плоских поверхностях изделия (например, отверстие 4 на рис. 4.113), где также может оставаться трудноэвакуируемый воздух.

Характерный размер отверстий каналов на формующей поверхности должен быть таким, чтобы не оставлять на формуемом изделии заметных следов. Значения диаметров вентиляционных каналов приведены в табл. 4.25.

Таблица 4.25

Диаметры вентиляционных каналов

Материал	d , мм	
	$\delta = 2$ мм	$\delta = 6$ мм
Полистирол ударопрочный, акрилонитрилбутадиен-стирол, полиметилметакрилат, поливинилхлорид	0,2–0,4	0,5–0,7
Полиэтилены, полипропилены	0,1–0,2	0,4–0,5

Необходимо отметить, что ширину вентиляционных щелей следует принимать на 20–30% меньше, чем указанные здесь диаметры отверстий.

Время деформирования листа, определяющее степень его охлаждения в процессе формования и, следовательно, влияющее на разнотолщинность будущего изделия, зависит от общего гидравлического сопротивления вакуумной магистрали, соединяющей ресивер машины с полостью между формуемым листом и формой, поэтому общее число каналов в первом приближении должно выбираться таким, чтобы их суммарное гидравлическое сопротивление не превышало значительно собственное сопротивление магистрали машины. В таком случае в рабочей (наиболее узкой) части каналов развивается средне-расходоная скорость воздуха, близкая по величине скорости звука в нем, — $v_3 = 335$ м/с. Имея в виду этот режим истечения воздуха и задаваясь временем формования t , можно рассчитать необходимое число отверстий n из очевидного соотношения:

$$(\pi d^2 / 4) n v_3 = \alpha V / t, \quad (4.77)$$

где α — коэффициент запаса, учитывающий тот факт, что в процессе формования облегающий формующую поверхность лист может перекрывать (закупоривать) значительную часть отверстий и на финальной стадии формования произойдет крайне нежелательное снижение

скорости деформации листа, когда общее количество отверстий n не будет принято со значительным запасом; значение α целесообразно принимать равным 8–10; V – объем отведенного воздуха.

Ниже приводятся ориентировочные значения числа цилиндрических отверстий n в зависимости от объема отводимого воздуха V :

$V, \text{м}^3$	n	$V, \text{м}^3$	n
0,001–0,005	100–200	0,10–0,25	1000–5000
0,005–0,010	200–400	0,25–0,50	5000–10 000
0,010–0,100	400–1000		

При любых конфигурации и размерах вентиляционные отверстия необходимо выполнять с минимально возможной длиной в целях минимизации их гидравлического сопротивления. Длина принимается, как правило, не более $(10–15)d$.

Отдельные потоки воздуха от каждого вентиляционного канала объединяются и отводятся из формы системой дренажных каналов. Проходные сечения дренажных каналов принимаются такими, чтобы их гидравлическое сопротивление было ничтожно малым по сравнению с сопротивлением вентиляционных каналов. На рис. 4.113 система дренажных каналов включает в себя полость 5, радиальные отверстия 6 и центральное отверстие 7. От вентиляционной щели 3 воздух отводится кольцевыми и тремя радиальными 9 каналами, из которых воздух поступает в камеру 10 и далее в радиальные 11 и центральное 7 отверстия. Возможный вариант системы дренажных каналов в многогнездных матрицах показан на рис. 4.114. Вентиляционные отверстия 5 сообщаются с первичными каналами 6, которые объединены в группы кольцевыми каналами 7 трапецеидального сечения, профрезерованными на изнаночной поверхности матрицы. Эти последние сообщаются друг с другом также профрезерованными каналами типа 8. Воздух отводится через один или несколько штуцеров 9.

Система охлаждения может быть выполнена как непосредственно в формообразующей детали (например, сверленные отверстия или заформованные змеевики), так и в специальных охлаждающих плитах как канального (поз. 10 на рис. 4.114), так и полостного (поз. 12 на рис. 4.113) типов. Для форм, работающих в интенсивном режиме, целесообразно производить поверочный расчет системы охлаждения. Он может выполняться принципиально так же, как и для литевых форм.

4.5. Формующий инструмент экструдеров

4.5.1. Общее устройство и принцип действия экструзионных головок

Назначение экструзионного формующего инструмента – формирование расплава полимера, который поступает из экструдера, в непрерывное изделие с постоянным (реже – переменным) поперечным сечением заданной формы по длине.

Расплав сначала оформляется в виде непрерывного профиля, поперечное сечение которого очень близко к окончательному. Эту функцию выполняет головка. Придание окончательной конфигурации изделию и охлаждение его для сохранения приобретенной конфигурации в течение всего времени транспортирования до окончательного охлаждения выполняется калибрующим устройством.

От точности конструкции головки в значительной степени зависят точность поперечных размеров экструдированного изделия и качество его поверхности. В соответствии с этим назначением конструкция головки должна удовлетворять следующим требованиям.

1. Конструкция головки должна обеспечивать трансформирование поперечного сечения паточка с целью придания ему формы, соответствующей сечению экструдированного изделия.

2. Конфигурация профилирующей щели головки должна быть выполнена с учетом искажений формы потока, которые возникают в результате высокоэластического восстановления.

3. Геометрические размеры профилирующей щели и углы входа должны обеспечивать возможность работы с максимальными значениями производительности, при которых еще не наблюдается «эластической турбулентности».

4. Конфигурация каналов головки должна исключать образование в ней зон застоя.

5. Головка должна обладать достаточным сопротивлением, чтобы на выходе из червяка создавалось противодействие, которое обеспечивает качественное смешивание и гомогенизацию полимера.

6. Конструкция профилирующих органов головки должна быть достаточно жесткой, чтобы при любых рабочих давлениях сечение проточной части оставалось неизменным.

7. Конструкция головки должна обеспечивать возможность регулирования распределения объемного расхода по периметру потока, чтобы возможно было избавиться от воздействия неточностей расчета и изготовления на профиль экструдированного изделия.

Далеко не все эти задачи поддаются количественному анализу, и в настоящее время при проектировании головок используется не только точный инженерный подход, но и в значительной мере практический опыт, приобретенный в этой области.

Одна из основных проблем, которую приходится решать при конструировании головок, – это определение коэффициента сопротивления, который позволяет рассчитать давление экструзии и определить фактическую производительность экструдера.

Величина объемной производительности определяется в результате общего решения двух уравнений, одно из которых описывает внешнюю характеристику экструдера $Q = Q(P)_N$ при заданных условиях (N, k, T), а второе описывает внешнюю характеристику головки $Q = Q(P)_T$.

Решение этих уравнений можно находить графически, нанося на один график обе характеристики (рис. 4.119).

В этом случае при определении величины фактической производительности руководствуются тем, что точка пересечения кривых (точка A) 1 – характеристика червяка и 2 – характеристика головки.

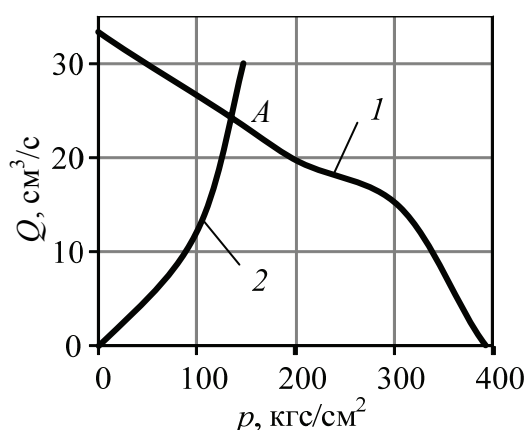


Рис. 4.119. Графический метод нахождения объемной производительности

Во всех конструкциях головок полость, по которой движется расплав, можно разделить на следующие зоны (рис. 4.120).

I, II – зона входа в головку и переходная зона от цилиндра экструдера к головке, это значит участок полости между концом шнека и решеткой. В этой зоне образовывается наибольшее давление, необходимое для продавливания расплава через головку. Это давление необходимо также и для нормальной работы

шнека. Когда сопротивление формующей головки небольшое, то на решетку кладут сетки для увеличения сопротивления течению. Эти же сетки используются как фильтровальные. Решетка содействует также правильному формованию изделия, так как предотвращает вращательное движение расплава, которое сообщает ему шнек, и обеспечивает более равномерный прогрев расплава по сечению. На этом участке отдельные потоки расплава, что образовались в решетке, сливаются в один сплошной поток.

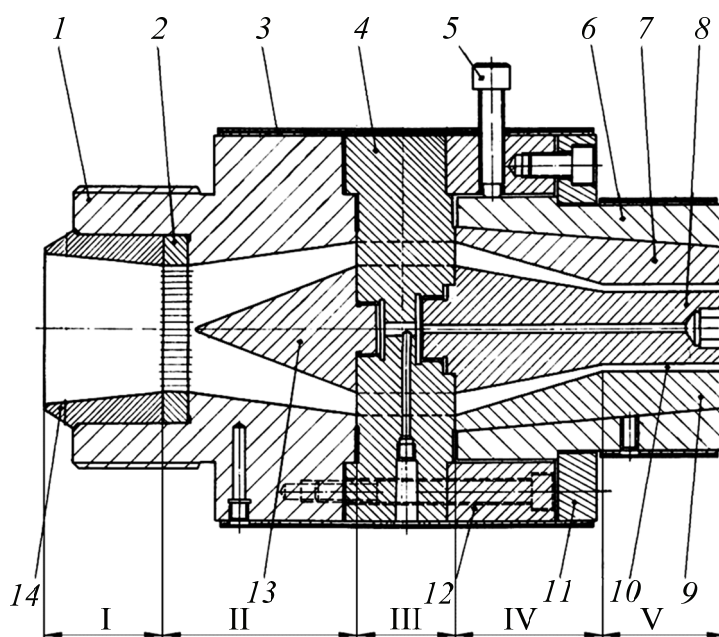


Рис. 4.120. Конструкция экструзионной головки

III – зона дорнодержателя.

IV – зона подводных каналов – участок, который образуется формующими деталями (мундштуки, сопла, дорны и т. д.) на входе так, что расплав на этом участке подводится к формующей щели с поперечным сечением, близким по форме и размерам к сечению готового изделия.

V – формующая зона – последний участок в полости головки, где расплаву придается форма изделия. Длина этой зоны должна быть достаточной для того, чтобы за время прохождения через нее из расплава сформировалось изделие. Поскольку в этой зоне образуется основное сопротивление течению расплава, то длина ее ограничивается величиной этого сопротивления. Конструкции головок разрабатываются таким образом, чтобы обеспечить плавное течение

расплава внутри каждой зоны и плавный переход из одной зоны во вторую. На пути течения нет уступов и мертвых зон. Соединительные детали головок плотно прилегают одна к одной с усилием, которое противодействует внутреннему давлению расплава до 30 МПа.

Основные конструкционные элементы головок рассмотрим на примере головки для производства изделий закрытого типа (рис. 4.120). Любая головка имеет формующий канал 10, его поперечное сечение повторяет форму поперечного сечения изделия. Внешняя поверхность формованного в этом канале изделия оформляется одной или несколькими деталями 7, 9, которые называются мундштуками и крепятся в корпус 6, который в свою очередь фланцем 11 крепится к детали 12. Внутренняя поверхность изделия оформляется дорном 8. Дорн крепится к дорнодержателю 4 на резьбе, а с другой стороны рассекатель 13. Дорнодержатель имеет четыре сегментальных отверстия для прохождения расплава и перпендикулярно к ним в одном из ребер круглое отверстие для поступления воздуха вовнутрь формованного изделия для его калибровки. Головки, как правило, имеют устройства для регулирования зазора формовочного канала. Это обеспечивается четырьмя винтами 5. На входе в переходную зону размещаются в корпусе 1 решетка 2 и сетки, которые устанавливаются перед ней и прижимаются переходником 14. Сетки и решетка создают дополнительное гидравлическое сопротивление, которое обеспечивает необходимое для удовлетворительной пластификации полимера давление перед червяком.

Головка имеет обогрев 3. Для круглого корпуса используют хомутоподобные нагреватели сопротивления. Для крупногабаритных головок прямоугольной внешней конфигурации рекомендуется использовать ТЭНы, которые вставляются в отверстия в теле головки. Потери тепла в окружающую среду в этом случае в 4–5 раз меньше. Внешняя поверхность головки в этом случае должна иметь теплоизоляцию.

Корпус головки должен иметь отверстия для установки в них приборов теплового контроля в соответствии с количеством независимо регулируемых зон обогрева. Иногда в канал головки в области входа в нее или около входа в формующий канал вводят датчики давления и температуры расплава.

Принцип действия калибрующих устройств заключается в том, что их рабочие поверхности контактируют с одной или несколькими поверхностями изделия, которое на них скользит, что придает изделию окончательную конфигурацию и размеры.

4.5.2. Классификация головок

Головки отличаются большим разнообразием типов и конструкций, которые могут классифицироваться следующим образом:

- по направлению выхода изделия:
 - 1) прямоточные головки с направлением выхода изделия вдоль оси червяка (головки для труб, стержней, шлангов);
 - 2) угловые головки, которые осуществляют поворот патока расплава и, соответственно, меняют направление выдачи изделия на определенный угол по отношению к оси червяка (головки для покрытия проводов, кабелей и каких-либо сердцевин изоляцией или охранной оболочкой, головки для рукавной пленки, головки для экструзии с раздувом и пр.);
- по конфигурации формующей щели:
 - 1) плоскощелевые;
 - 2) головки с кольцевым поперечным сечением канала (головки для цилиндрических стержней, трубные головки, головки для экструзии с раздувом, головки для получения рукавной пленки);
 - 3) профильные головки, имеющие сложный контур поперечного сечения формующего канала и отличающиеся конфигурацией поперечного сечения изделия от головки для изделий открытого типа; специальные головки и головки для изделий из вспененных материалов;
- по типу термостатирования корпуса головки:
 - 1) с рубашками для обогрева (или охлаждения) жидкостями;
 - 2) электрическим обогревом нагревателями омического сопротивления или индукционного типа.

Из экструдера в головку материал подается, как правило, при температуре, с которой он должен выдавливаться из формующего канала, поэтому какого-либо значительного нагрева или охлаждения материала в головке происходить не должно. Общий тепловой баланс головки в этом случае определяется двумя составляющими: тепловыделениями в материале ввиду рассеивания работы его деформирования в каналах и теплоотдачей в окружающую среду. Когда первая составляющая значительно меньше второй (что, как правило, имеет место при экструзии термопластов, потому что вязкость их расплавов относительно небольшая, а температура головки должна быть значительно больше температуры окружающей среды), то применяют второй тип термостатирования, более компактный и простой в обслуживании. Когда же эти составляющие близки по значимости или вторая превышает первую (что характерно, например, для экструзии высоковязких

резиновых смесей), то применяют первый тип термостатирования, который с одинаковой эффективностью может осуществляться как подводом, так и отводом тепла от тела головки;

- по общей конфигурации корпуса головки:

- 1) литые;
- 2) сварно-литые;
- 3) разъемные, полученные механической обработкой из паковок и прокаток.

Тот или иной тип в данном случае выбирается преимущественно в зависимости от габаритов головки, а также с учетом программы производства (единичный экземпляр, несколько штук, мелкая серия) и конкретных технологических возможностей. В настоящее время применяется преимущественно третий тип корпусов;

- по способу крепления к цилиндру экструдера:

- 1) с фланцевым соединением (головки съемные или откидные на удавках);
- 2) резьбовым соединением;
- 3) накидными полукольцами, которые стягиваются.

Выбор того или иного типа крепления, а также типа привода крепежного устройства (механического или ручного) определяется, во-первых, габаритами головки, во-вторых, необходимой частотой съема головки;

- по максимальному давлению в головке, которое обеспечивает рабочую производительность:

- 1) головки низкого давления (до 6 МПа) для стержней диаметром более 5 мм, толстых труб и листов и других толстостенных профилей;
- 2) головки среднего давления (6–20 МПа) для стержней диаметром 3–5 мм или труб и профилей с толщиной стенки около 1 мм;
- 3) головки высокого давления (свыше 20 МПа) для производства пленок, вытяжки нитей и т. д.

4.5.3. Факторы, определяющие конструкционное оформление головок

Конструкционное оформление головок зависит от реологических свойств расплавов полимеров и определенных этими свойствами специфических гидравлических явлений, а также от характера взаимодействия экструдера с головкой.

• **Фактическая производительность экструдера**, оснащенного конкретной головкой, определяется их взаимодействием. Рабочими характеристикам экструдера и головки, как отмечалась выше, служат графики в координатах давление – производительность. Для экструдера такой график выражает зависимость между давлением, которое образуется на конце шнека, и производительностью зоны дозирования шнека при заданных его размерах и свойствах расплава. Уравнение, которое описывает эту зависимость, имеет следующий вид:

$$Q = \alpha N - \frac{\beta p}{\mu_{\text{эф}}}, \quad (4.78)$$

где α , β – коэффициенты, зависящие от геометрии канала червяка; N – количество оборотов червяка; p – давление на выходе из канала червяка, т. е. на входе в головку; $\mu_{\text{эф}}$ – эффективная вязкость расплава в канале червяка.

Таким образом, рабочая характеристика экструдера в соответствии с уравнением в координатах Q – p представляет собой прямую линию с отрицательным наклоном.

При постоянной скорости вращения шнека производительность Q связана примерно линейной зависимостью с противодавлением p , которое развивается головкой. Пункт пересечения кривой с ординатой дает производительность при отсутствии в головке противодействия, а угол наклона зависит от глубины нарезки. Когда нагнетательная зона имеет большую глубину нарезки, кривая имеет крутой наклон, что значит – червяк чувствителен к противодавлению; когда же глубина нарезки небольшая, кривая имеет небольшой наклон (рис. 4.121, а).

На угол наклона прямой оказывает воздействие также и длина нагнетательной зоны (зоны дозирования). Для червяков с одинаковой глубиной нарезки, но с разной длиной зоны дозирования кривые зависимости противодействия, которые пересекают ось ординат в одной и той же точке, по мере увеличения длины зоны дозирования (нагнетания) будут уменьшать угол наклона (рис. 4.121, б).

Таким образом, можно сделать вывод, что червяк имеет так называемую жесткую характеристику. Охлаждение червяка оказывает на его рабочую характеристику такое же влияние, как и уменьшение длины нарезки (рис. 4.121, в). Увеличение температуры расплава в зоне дозирования влияет на работу экструдеров таким же образом, как и уменьшение длины нагнетательной зоны (рис. 4.121, г).

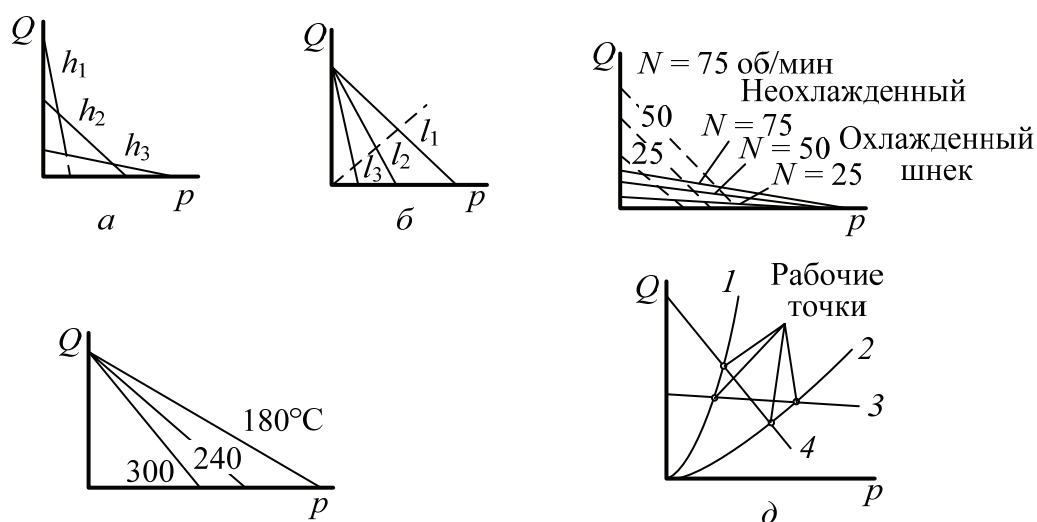


Рис. 4.121. Рабочие характеристики экструдера

При увеличении скорости червяка его характеристика перемещается в сторону увеличения производительности.

Уравнение, которое определяет рабочую характеристику головки, имеет вид

$$Q = \frac{K_n p}{\mu_{эф}}, \quad (4.79)$$

где K_n – коэффициент, зависящий от геометрической формы каналов головки.

Величина $\mu_{эф}$, как известно, для расплавов полимеров является убывающей функцией скорости сдвига, которая, в свою очередь, пропорциональна величине Q . В соответствии с уравнением рабочая характеристика соответствует кривой, которая исходит из начала координат (рис. 4.121, д). Решение уравнений для Q графически проиллюстрировано точками пересечения рабочих характеристик (рабочими точками), дает значения производительности и давления, которое при этом развивается на входе в головку, для конкретного сочетания экструдера и головки.

Условие равенства скоростей расплава во всех точках поперечного сечения формирующего канала – одна из наиважнейших условий, которые определяют соответствие и качество получившегося изделия. Когда на отдельных участках сечения фильеры скорости течения различны, то после выхода из фильеры будут наблюдаться резкие искажения формы заготовки. На участке, где скорость больше, материал будет вытесняться в большем количестве, чем нужно

для получения изделия, поэтому при свободном выходе расплава тут будут образовываться складки, когда этот участок находится в середине изделия, или заготовка резко выгнется, когда участок расположен на краю изделия. Складок и искривлений можно избежать путем вытяжки заготовки, однако при этом резко изменяются соотношения толщины на участках с разными скоростями течения. Создастся повышенная ориентация на тонком участке, которая плохо отражается на эксплуатационных свойствах изделия. Чтобы выровнять скорости течения по сечению фильеры, надо придать ей такую форму, при которой сопротивления течению расплава на всех участках будут равными. Методы и приемы выравнивания потока основываются на выводах гидродинамического анализа течения расплава в каналах головок, являются одной из задач гидравлического расчета.

При экструзии разнотолщинных и сложных профилей практически никогда не удастся целиком обеспечить уравновешенный расход по всему формующему сечению, и производство таких изделий всегда происходит при скорости принудительного отвода экструдата $V_{пр}$, которая чуть превышает скорость выхода профиля из головки $V_э$.

$$\frac{V_{пр}}{V_э} = K_v, \quad (4.80)$$

где K_v – коэффициент вытяжки.

Вытягивание профиля происходит с утончением его стенок и уменьшением линейных размеров поперечного сечения в $\sqrt{K_v}$ раз. Чем больше неоднородность выхода расплава из канала, тем большее вытягивание необходимо планировать и учитывать при определении размеров формующего канала. Максимальные значения K_v определяются следующими факторами:

- 1) нормальные напряжения растяжения, которые развиваются в экструдате на участке вытяжки (на участке между головкой и калибрующим устройством), не должны превышать границы прочности расплава;
- 2) высокоэластические (обратимые) деформации, которые развиваются в экструдате при вытягивании, фиксируются в отформованном профиле при быстром его охлаждении на калибрующем устройстве и дальше в ванне охлаждения. Эти деформации при дальнейшей эксплуатации профиля, в особенности при повышенных температурах, могут частично реализоваться, что приведет к значительному уменьшению продольного размера профиля;

3) при больших значениях K_v значительно искажается конфигурация мелких элементов сечения профиля (канавки, перемычки, ребра и др.).

Исходя из первого и третьего факторов, как правило, недопустимы значения $K_v > 2$. Исходя из второго фактора, практикой для отдельных материалов рекомендуются следующие коэффициенты вытяжки (в процентах), которые гарантируют удовлетворительное качество изделия при условии применения упомянутых конструктивных методов выравнивания потока:

Полиэтилен низкой плотности	15
Полиэтилен высокой плотности	20
Полистирол и его сополимеры	10
Полиамид	20
Ацетобутират целлюлозы	10
Поливинилхлорид непластифицированный	10
Поливинилхлорид пластифицированный	15

Соответствующие размеры поперечного сечения формирующего канала при его конструировании должны приниматься большими за такие в тонкостенных профилях в K_v раз, в толстостенных или монолитных – в $\sqrt{K_v}$ раз.

Свариваемость отдельных потоков расплава, на которые разбивается общий поток перемычками решетки, ребрами дорнодержателя и другими преградами, – также одно из необходимых условий получения доброкачественного изделия. Для сваривания необходимы достаточное давление в расплаве и эффективная деформация поверхностей контакта сливаемых потоков. Гидравлическое сопротивление формирующего канала, как правило, оказывается достаточным для обеспечения необходимого давления, а нужная деформация поверхностей контакта обеспечивается монотонным уменьшением площади поперечного сечения подводного канала в три-пять раз.

Огрубление поверхности экструдированного изделия – одна из специфичных нежелательных явлений, которые характерны для расплавов полимеров. Учет этого явления очень необходим при конструировании головок, в особенности в высокоскоростных процессах наложения кабельной изоляции и производства пленок. Явление выражается в том, что при достижении некоторой скорости выхода абсолютно гладкая поверхность изделия, которая выходит

из головки, становится шероховатой, а при дальнейшем увеличении скорости возникают и прогрессируют нерегулярности самой формы экструдата. Они имеют определенную периодичность: чаще всего это периодические кольцевые утолщения.

Возникновение этого явления обусловлено следующими тремя факторами: проявление расплавом упругих свойств; наличие в расплаве определенной величины прочности при сдвиге; наличие адгезионной прочности, т. е. прочности связи расплава, текущего в канале, с его стенками.

Прочность при сдвиге или адгезионная прочность могут быть оценены значениями предельных напряжений сдвига τ_c или τ_a соответственно. В объеме расплава при его течении возникает определенное распределение напряжений сдвига. В этом объеме можно выделить поверхности, которые характеризуются одинаковыми значениями напряжений сдвига. При этом существует поверхность, на которой напряжения сдвига максимальны; при течении в каналах это, как правило, поверхность контакта расплава со стенкой канала.

По мере роста расхода в канале напряжения сдвига в расплаве возрастают, и когда максимальные напряжения τ_{\max} при этом превышают значения τ_c , то возникает разделение объемов потока по поверхности действия τ_{\max} . Когда же напряжения в расплаве непосредственно около стенки канала превышают значения τ_a , то возникает разделение потока со стенкой канала: прилипание расплава к стенке изменяется на скольжение по ней.

При учете отмеченного выше механизм процесса, который приводит к периодическим нерегулярностям конфигурации экструдированного изделия, можно представить приблизительно следующим образом. С ростом расхода в расплаве растут напряжения и вызванные ими упругие обратимые деформации. При некотором расходе значения τ_{\max} превышают, например, τ_a , связь потока со стенкой нарушается, и накопившиеся в расплаве упругие деформации резко уменьшаются, что приводит к проскальзыванию потока по стенке в направлении к выходу канала и практически к мгновенному увеличению расхода. Этому соответствует возникновение утолщения на потоке расплава, который вытисняется из канала. Исчезновению упругих деформаций соответствует уменьшение напряжения в потоке, в том числе и τ_{\max} , которое становится меньше τ_a . Прилипание расплава к стенке восстанавливается, после чего в результате течения, которое продолжается в расплаве, опять начинается развитие упругих

деформаций и рост τ_{\max} , причем продолжается это до момента достижения $\tau_{\max} > \tau_a$ и, значит, повторного акта проскальзывания. Этот автовесовой процесс периодического проскальзывания, которое сменяется прилипанием, вызывает периодические утолщения и утонения экструдруемой трубы, причем возникновение утолщений происходит в момент проскальзывания.

Когда условие $\tau_{\max} > \tau_a$ возникает на стенке формующего канала вплоть до выходного сечения, то и проскальзывание простирается вплоть до выходного сечения, и поверхность экструдата в местах утолщения получается шероховатой. Однако это условие может возникнуть не на всей поверхности формующего канала, а только на входе в него, или, чаще всего, в предыдущем переходном канале, потому что общий уровень напряженного состояния расплава в этих местах более высокий. В этом случае и область проскальзывания не распространяется до выхода из головки, однако наличие этого проскальзывания также приводит к пульсациям расхода и, соответственно, площади поперечного сечения потока, поверхность которого в этом случае получается гладкой.

Теоретического описания явления огрубления, которое позволяет прогнозировать условия ее возникновения, сейчас нет. Приблизительный прогноз возможен на основе экспериментальных сведений. Напряжения сдвига τ , которые развиваются в расплаве, связаны реологическим уравнением со скоростью сдвига $\dot{\gamma}$. Скорость сдвига, при которой начинает развиваться явление огрубления поверхности, имеет название критической скорости сдвига $\dot{\gamma}_k$.

Экспериментально установлено, что критическая скорость сдвига практически не зависит от длины формующего канала при отношениях длины к максимальной его высоте больше пяти-восьми, это значит таких, которые имеют место в экструзионной практике. Однако она оказывается сильнозависимой от интенсивности уменьшения площади поперечного сечения переходного канала, т. е.

$$\dot{\gamma}_k = f(\varepsilon, T), \quad (4.81)$$

где $\varepsilon = dr_r / dl$ – интенсивность уменьшения гидравлического радиуса dr_r поперечного сечения входной зоны согласно ее длине l ; T – температура расплава; $dr_r = F / \Pi$; F – площадь поперечного сечения; Π – периметр поперечного сечения.

В каналах величина ε определяется только одним геометрическим параметром – углом конической поверхности мундштука,

который образует канал α . Диапазон значений этих углов – от 45–60° до 8–10°. Конкретное значение углов зависит от скорости экструзии расплава из данной головки или расхода через нее Q , т. е. производительности. Условие качества поверхности экструдата с точки зрения огрубления поверхности следующая:

$$\dot{\gamma} < \dot{\gamma}_k, \quad (4.82)$$

где $\dot{\gamma}$ – фактическая скорость сдвига в данном канале; $\dot{\gamma}_k$ – критическая скорость сдвига для этого же канала.

С ростом угла α до определенного α_k критическая скорость сдвига $\dot{\gamma}_k$, уменьшаясь, стремится к определенной границе. Это объясняется тем, что во входном конусе с углом α_0 образуется зона нетекучего полимера (зона застоя), ограниченная областью $\alpha_k < \alpha < \alpha_0$, которая автоматически поддерживает равный α_k угол входа для текучей части полимера. Застоявшийся в подобных зонах расплав по причине длительного температурно-временного воздействия подвергается термодеструкции и частично захватывается текущим расплавом, что приводит к порче изделия, поэтому углы наклона поверхностей каналов по отношению к основному направлению течения расплава как в зонах сужения, так и в зонах расширения не должны превышать значения α_k . Также аналогично зоны застоя могут иметь место при столкновении расплава с преградами, например, в виде рассекателя дорнодержателя и его ребер. Значит, как передние, рассекающие поток, так и задние, с которых поток уходит, углы поверхностей этих деталей по отношению к направлению течения расплава не должны превышать α_k , значение которого практически установлено в диапазоне 45–60°.

В ряде конструкций головок конфигурация каналов настолько сложная (например, кольцевые головки для экструзии многослойных рукавных пленок, угловые многоручьевые головки для формирования изделий методом экструзии с раздувом), что на стадии их проектирования бывает непросто сделать однозначное заключение о возможном наличии или отсутствии зон застоя в тех или других местах канала, даже несмотря на, казалось бы, гарантированное выдерживание указанного здесь ограничения на входные и выходные углы.

Сейчас используется только один экспериментальный метод выявления застоя при испытаниях головки: когда цвет экструдата на поверхности или в срезе неоднородный (имеются полосы более темного тона в результате деструкции полимера или меньше интенсивного

и сменного цвета в результате деструкции красителя), то зоны застоя есть и их необходимо устранять доработкой поверхности канала.

Увеличение (разбухание) толщины стенок и размеров поперечного сечения изделия, выходящего из головки, – также одно из важных в экструзионной технике явлений, которое во многом определяется вязкоупругой природой расплавов полимеров. Обусловлено оно реализацией на выходе из головки упругой деформации, которая имеется в расплаве.

В зоне переходного канала с интенсивно изменяющимся поперечным сечением в связи с безостановочной перестройкой скоростного профиля потока развиваются значительные сдвиговые напряжения, которые приводят к соответствующей запасенной расплавом упругой деформации. В зоне формующего канала с постоянным поперечным сечением скоростной профиль стабилизируется, и часть запасенной упругой деформации, инициированной входным эффектом, постепенно реализуется, в результате полная упругая деформация стремится к значению, которое соответствует напряжению в стационарном патоке (последнее зависит только от скорости экструзии).

Степень реализации этой доли деформации к моменту выхода расплава из головки определяется соотношениями характерного времени релаксации и времени нахождения полимера в канале постоянного сечения (время пребывания изменяется с ростом скорости и убыванием длины формовочного канала). Исходя из практики, при соотношениях длины формующего зазора L к его высоте H больше 15–20 практически при любых скоростях экструзии имеет место почти полная реализация в зоне переходного канала. Сохраненная в расплаве упругая деформация реализуется на выходе из формующего канала и приводит к увеличению сечения экструдата, которое определяется величиной коэффициента разбухания β (отношения какого-либо размера сечения канала).

Из рассмотренного очевидно, что при увеличении длины формующего канала до указанных соотношений коэффициент разбухания уменьшается до некоторой минимальной величины β_m . Последнее зависит только от величины напряжений в стационарном патоке (и, соответственно, от скорости сдвига и температуры расплава). Экспериментально установлено, что с ростом скорости сдвига интенсивность увеличения β_m падает и последний становится максимальным и практически независимым от скорости сдвига при значениях

больше $15\text{--}20\text{ с}^{-1}$. Таким образом, в указанном диапазоне скоростей сдвига, который чаще всего (за исключением экструзии чрезвычайно толстостенных изделий) имеет место на практике, и с учетом того, что диапазон оптимальных температур экструзии обычно большой, β_m можно считать с достаточной для инженерной практики точностью постоянным и зависимым только от материала.

В большинстве экструзионных процессов явление разбухания компенсируется соответствующей вытяжкой и нивелируется калибровкой. Однако в таких процессах, как, например, экструзия трубчатых заготовок для производства полых раздувных изделий, заготовка не подвергается калибровке и принудительной вытяжке. Между тем размеры заготовки должны быть строго согласованы с соответствующими размерами раздувной формы. Отсюда очевидна необходимость учета коэффициента разбухания при назначении диаметров дорна и мундштука раздувной головки.

Распределение скорости потока характеризуется реологическими свойствами полимера, геометрией канала, скоростью течения через фильеру, а также полем температуры в головке. Если геометрия канала оптимальна для конкретного полимера при данных условиях, то даже незначительное изменение скорости или температуры может сделать предполагаемую геометрию неоптимальной. За исключением круглых фильер, принципиально невозможно реализовать такую геометрию канала, которая одинаково хорошо подходила бы для широкого ряда полимеров при разных условиях переработки. Для облегчения решения возникающих проблем внутри головки вводят регулирующие механизмы, с помощью которых распределение скорости в процессе работы экструдера можно изменять принудительно.

Распределение скорости обычно происходит двумя способами:

1) изменением геометрии канала посредством заслонок, ограничителей, клапанов и т. д;

2) изменением температуры внутри головки.

Разумеется, введение регулирующих механизмов усложняет конструкцию головки, однако повышает ее управляемость.

Некоторые общие правила, которые следует учитывать при конструировании головки, состоят в следующем.

1. Постепенное увеличение скорости вдоль канала.
2. Простота монтажа и демонтажа головки.
3. Длина фильеры должна превышать величину зазора примерно в 10 раз.

4) Геометрическая форма канала не должна иметь резких изменений.

5) Необходимо использовать малые переходные углы.

Некоторые основные рекомендации, приводящие к оптимизации процесса экструзии, заключаются в следующем:

1) закругление всех внутренних и внешних углов предпочтительно с наименьшим радиусом около 0,5 мм;

2) важно наличие одинаковой толщины стенок изделия;

3) отсутствие очень тонких стенок;

4) внутренние стенки изделия должны быть тоньше, чем внешние;

5) уменьшение количества полых деталей.

На рис. 4.122 проиллюстрировано применение приведенных рекомендаций к разным профилям и геометриям канала течения.

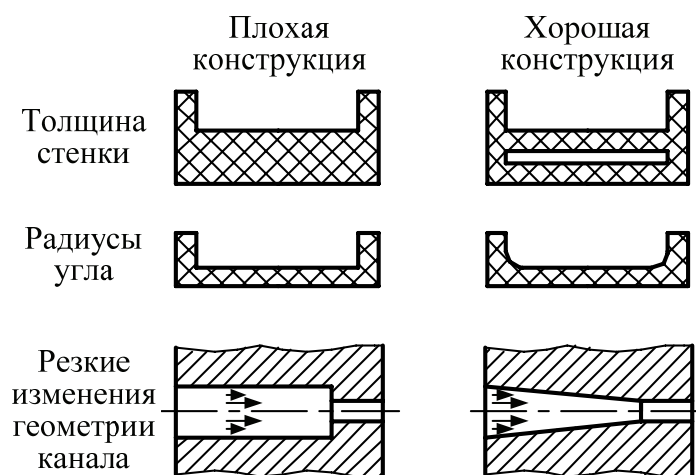


Рис. 4.122. Рекомендации к профилю и геометрии канала

Уравнивание потоков в фильере путем регулировки длины канала. Регулировка канала в экструзионной головке может быть проведена двумя основными способами. Во-первых, длина канала выбирается такой, чтобы средняя скорость течения была равномерной. Во-вторых, можно регулировать высоту канала.

Полагаем, что ширина канала существенно превосходит его высоту. В этом случае скорость течения жидкости, подчиняющейся степенному закону (неньютоновская жидкость), может быть выражена как

$$\dot{V} = \frac{nWH^2}{2(1+2n)} \left[\frac{H\Delta P}{2mL} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (4.83)$$

Геометрическими параметрами канала являются ширина W , высота H и длина L . Основными параметрами материала являются показатель степенного закона (индекс течения) n и показатель вязкости m . Использование этих параметров позволяет описывать скорость объемного течения расплава через канал головки с помощью вышеприведенного уравнения. Средняя скорость течения может быть получена путем деления скорости объемного течения на площадь поперечного сечения канала:

$$v = \frac{nH}{2(1+2n)} \left[\frac{H\Delta P}{2mL} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (4.84)$$

Согласно этому уравнению, средняя скорость не зависит от ширины канала. Напомним, что утверждение верно лишь в том случае, когда ширина канала много больше его высоты ($W \gg H$). Если профиль фильеры имеет участки разной толщины, высота канала должна быть различной на разных участках канала головки. Если длина формующего канала одинакова во всех участках головки, то различия в высоте канала приводят к большим различиям средней скорости. Количественно это может быть описано следующим выражением, представляющим зависимость отношения средних скоростей v_1 / v_2 от отношения высот H_1 / H_2 :

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1+1/n}. \quad (4.85)$$

Рис. 4.123 иллюстрирует эту зависимость для нескольких значений индексов течения.

Из рис. 4.123 видно, что небольшие различия в толщине могут привести к большим различиям в скорости, особенно при малых значениях индексов течения. Даже при изменении толщины на 50% изменения скорости могут быть очень большими: от 5 до 10 раз в зависимости от значения индекса течения ($n = 0,2-0,4$), характерного для большинства промышленных полимеров. Очевидно, изменение скорости в 10 раз может вызвать большие проблемы при экструзии, поэтому регулировка потоков абсолютно необходима.

Уравнение для определения скорости течения может быть использовано также для того, чтобы определить возможность изменения длины формующего канала для поддержания постоянства средней

скорости. Чтобы средняя скорость в области канала высотой H_1 была такой же, как и в области с высотой H_2 , отношение длин формирующих каналов на этих участках должно быть следующим:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1+n}. \quad (4.86)$$

Рис. 4.124 иллюстрирует приведенное выше соотношение для нескольких значений индекса течения.

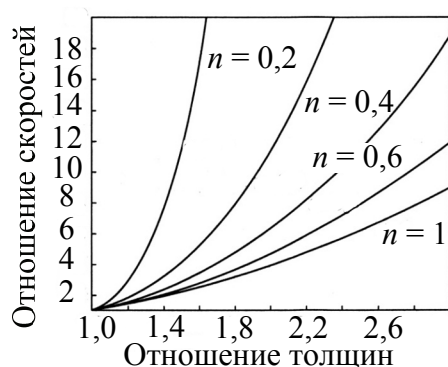


Рис. 4.123. Зависимость отношения средних скоростей от соотношения толщин

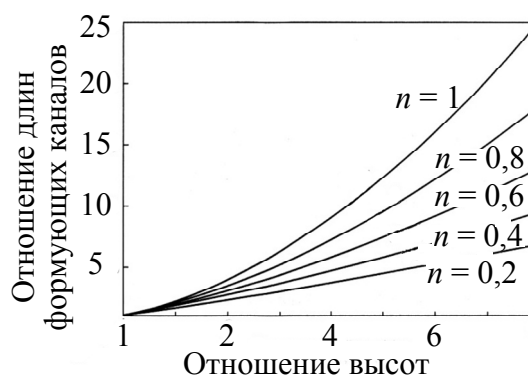


Рис. 4.124. Зависимость отношения длин формирующих каналов от отношения высот для нескольких индексов течения

Для больших значений отношения высот и длин формирующих каналов должно быть очень большим для поддержания однородного течения, особенно при высоких значениях индекса течения. Для очень больших значений отношения длин формирующих каналов (5 : 1 и выше) практически невозможно отрегулировать равномерное течение путем изменения длины. В частности, для полимера с $n = 0,4$ отношение высот не должно превосходить 3 : 1.

Одна из проблем, связанная с уравниванием потоков путем изменения длины формирующего канала, состоит в том, что такой способ инициирует возникновение отрицательного градиента давления по всей длине канала. Градиент давления в поперечном направлении канала будет вызывать поперечное течение, и результат регулировки путем изменения длины формирующего канала становится непредсказуемым, если не используется анализ трехмерного течения.

Один из способов устранения поперечного течения состоит в размещении перегородок между участками фильеры с различной толщиной таким образом, чтобы данное течение стало невозможным.

Размещение перегородок приводит к появлению отдельных потоков в фильере.

Перегородки могут быть расположены непосредственно перед выходом из головки, что позволяет отдельным струям объединяться. Такой метод дает возможность эффективно управлять потоком расплава полимера через фильеру. Недостаток применения перегородок состоит в том, что они могут создавать линии сгая потоков между перегородками. Таким образом, введение перегородок между участками фильеры с различной толщиной можно рассматривать как эффективный способ регулирования потока путем изменения ширины канала течения.

Длина формующего канала обычно регулируется путем изменения длины формующего канала на входе в канал, т. е. обратной разгрузкой формующего канала.

Возможно также изменение длины формующего канала в его конце, т. е. на выходе из фильеры. Такой способ называется фронтальной разгрузкой фильеры.

Очевидно, фронтальная разгрузка приводит к тому, что поверхность выходной части фильеры не должна быть плоской, что создает трудности при чистке поверхности фильеры. По этой причине фронтальная разгрузка фильеры используется реже, чем обратная разгрузка.

Уравнивание потоков в фильере путем изменения высоты канала. Регулировка течения в фильере путем изменения длины формующего канала не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Другой метод регулировки заключается в изменении высоты канала (рис. 4.125).

На рис. 4.125 изображена тонкая стенка, связанная с круглыми участками фильеры больших диаметров. Без уравнивания потоков течение через круглый участок будет существенно интенсивнее, чем через щелевой. Средняя скорость в круглом участке выражается как

$$v = \frac{nD}{2(1+3n)} \left[\frac{D\Delta P}{4mL} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (4.87)$$

а отношение средних скоростей в круглом v_k и щелевом $v_{щ}$ участках будет равным

$$\frac{v_k}{v_{щ}} = \frac{1+2n}{2^{1/n}(1+3n)} \left[\frac{D}{H} \right]^{1+1/n}. \quad (4.88)$$

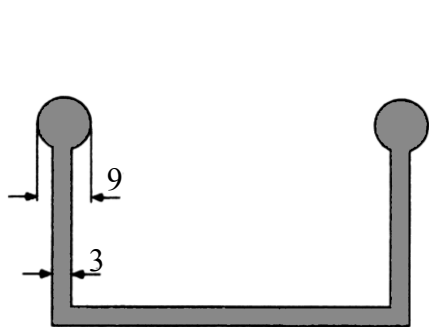


Рис. 4.125. Тонкая стенка, связанная с круглыми участками фильеры

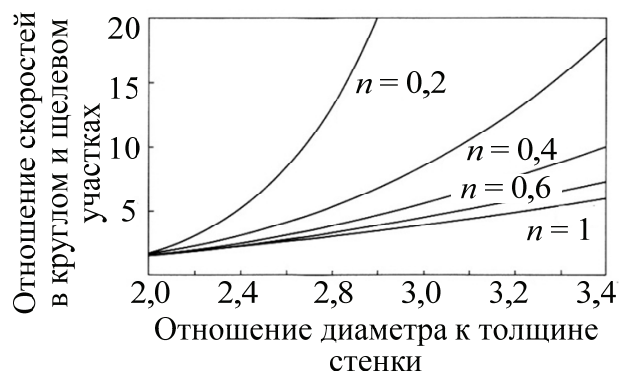


Рис. 4.126. Зависимость отношения средних скоростей в круглом и щелевом участках от отношения диаметра к толщине стенки

Графически соотношение представлено на рис. 4.126.

Для стенки толщиной $w = 3$ мм и диаметра круглого участка $D = 9$ мм отношение скоростей будет равно 3,375 при индексе течения $n = 1$. При $n = 0,4$ отношение скоростей достигает 6,764, что, очевидно, вызовет проблемы, которые можно устранить регулировкой, например, путем изменения длины формирующего канала. Для этого требуется выполнение следующего отношения длин формирующих каналов:

$$\frac{L_{\text{щ}}}{L_{\text{к}}} = \left(\frac{1+3n}{1+2n} \right)^n \left(\frac{H}{D} \right)^{1+1/n}, \quad (4.89)$$

где $L_{\text{щ}}$ – длина щелевого канала; $L_{\text{к}}$ – длина круглого канала.

Представленная выше графическая зависимость показана на рис. 4.127.

При $D/H = 3$ длина формирующего канала круглого участка должна быть в 4,3 раза больше длины формирующего канала щелевого. Это очень большая разница, что, вероятно, приводит к появлению поперечного течения. В данном случае более эффективным методом регулирования течения будет введение цилиндрических штифтов в круглую область фильеры (рис. 4.128).

Если необходимо, чтобы круглые участки профиля были сплошными, то цилиндрические штифты можно расположить перед выходом из головки таким образом, чтобы расплав полимера заполнял весь круглый участок.

Другим примером уравнивания потоков путем изменения высоты канала является изменение профиля (рис. 4.129).



Рис. 4.127. Зависимость отношения длин формующих каналов от отношения скоростей в этих каналах

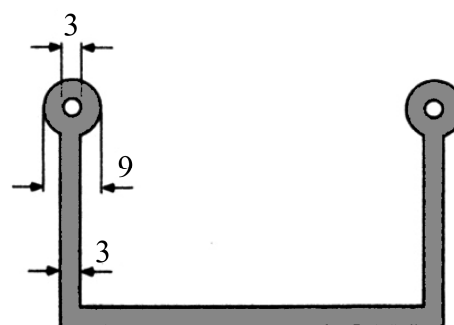


Рис. 4.128. Введение цилиндрических штифтов в круглую область фильеры как метод регулирования течения

Такой профиль фильеры вызывает трудности при экструзии, поскольку толщина стенок отличается в 3 раза, что приводит к большим различиям скорости. Одним из способов разрешения этой проблемы является изготовление полого профиля. Однако если требуется, чтобы профиль был сплошным, необходимо другое решение этой задачи, например, расположение перегородок в толстостенной зоне головки таким образом, чтобы толщина отдельных областей была приблизительно одинаковой (рис. 4.130).

Очевидно, существуют и другие способы регулировки течения. Однако метод, приведенный на рис. 4.130, достаточно эффективен для устранения больших различий скорости при течении в канале с участками различного сечения.

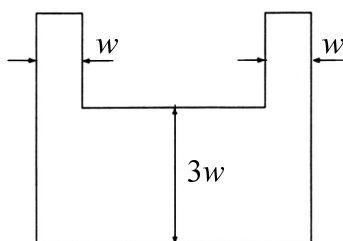


Рис. 4.129. Конструкция профиля с большой разнотолщинностью стенок

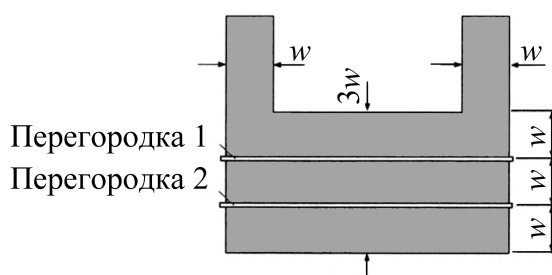


Рис. 4.130. Расположение перегородок в толстостенной области для выравнивания скоростей потоков

4.5.4. Гидравлический расчет головок

Основная задача гидравлического расчета головок заключается в определении зависимости между перепадом давления по длине канала и производительностью. Объемная производительность потока вязких жидкостей через головку прямо пропорциональна падению давления Δp и обратно пропорциональна вязкости μ :

$$Q = K \frac{\Delta p}{\mu}, \quad (4.90)$$

где K – коэффициент пропорциональности, который зависит от геометрии головки, или коэффициент геометрической формы головки, см^3 .

Зависимости, основанные на упрощенном методе расчета коэффициентов геометрической формы, позволяют определить характеристики каналов более простых форм с достаточной для практических расчетов точностью.

Цилиндрический круглый канал

$$K_{\text{ц}} = \frac{\pi d^4}{128 L_{\text{ц}}}, \text{ см}^3, \quad (4.91)$$

где d – диаметр канала, см; $L_{\text{ц}}$ – длина канала, см.

Устанавливаемая решетка

$$K_{\text{р}} = \frac{z \pi d_{\text{р}}^4}{128 b}, \text{ см}^3, \quad (4.92)$$

где z – количество отверстий; $d_{\text{р}}$ – диаметр отдельных отверстий в решетке, см; b – толщина решетки, см.

Конический круглый канал с большим диаметром на входе массы

$$K_{\text{к}} = \frac{3 \pi D^3 d^3}{128 L (D^2 + Dd + d^2)}, \text{ см}^3, \quad (4.93)$$

где D – диаметр основы конуса на входе массы, см; d – диаметр вершины конуса на выходе массы, см; L – длина конического канала, см.

Кольцевой канал

$$K_{\text{о}} = \frac{\pi}{8L} \left[R_{\text{н}}^4 - R_{\text{в}}^4 - \frac{(R_{\text{н}}^2 - R_{\text{в}}^2)^2}{2 \lg \left(\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{в}}} \right)} \right], \text{ см}^3, \quad (4.94)$$

где L – длина кольцевого канала, см; $R_{\text{н}}$ – наружный диаметр кольцевого канала, см.

Конический кольцевой канал

$$K_{\delta} = \frac{\pi(R_0\delta_2 - R_1\delta_1)}{6Lm}, \text{ см}^3, \quad (4.95)$$

где m – коэффициент, который определяется согласно формуле

$$m = \frac{2,3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}, \quad (4.96)$$

где R_1 – средний радиус окружности на входе материала в кольцевое отверстие, см; R_2 – средний радиус окружности на выходе материала из кольцевого отверстия, см; δ_1 – высота отверстия на входе материала в кольцевое отверстие, см; δ_2 – высота отверстия на выходе материала из кольцевого отверстия, см; L – длина конического кольцевого канала с коническим отверстием, см.

Прямоугольный щелевой канал

$$K_{\text{щ}} = \frac{bh^3}{12L}, \text{ см}^3, \quad (4.97)$$

где b – ширина щели, см; h – высота щели, см; L – длина щели, см.

Щелевой клинообразный канал

$$K_{\text{кл}} = \frac{bh_1^2h_2^2}{6L(h_1 + h_2)}, \text{ см}^3, \quad (4.98)$$

где b – ширина щели, см; h_1 – высота щели на входе канала; h_2 – высота щели на выходе материала, см; L – длина щели, см.

Канал произвольного поперечного сечения

$$K_{\text{пр.щ}} = \frac{F^3}{2L\Pi^3}, \text{ см}^3, \quad (4.99)$$

где F – площадь поперечного сечения, см²; Π – периметр сечения, см; L – длина канала, см.

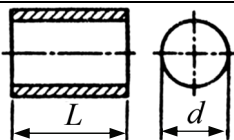
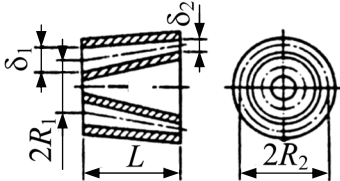
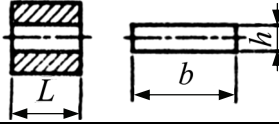
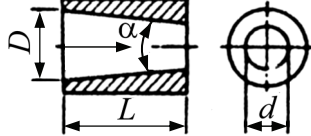
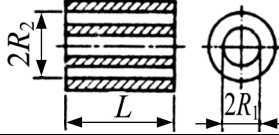
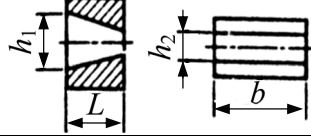
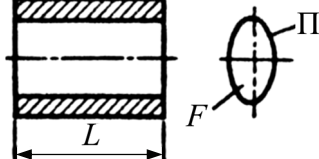
Профиль головки складывается из каналов простых форм. Тогда общий коэффициент геометрической формы для всей головки можно подсчитать как сумму сопротивлений из отдельных участков прохода сложного профиля исходя из уравнения

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_i}}. \quad (4.100)$$

Расчетные схемы для определения коэффициента геометрической формы приведены в табл. 4.26.

Таблица 4.26

Расчетные схемы для определения коэффициента геометрической формы

Вид канала	Расчетная схема
Круглый цилиндрический	
Конический кольцевой	
Плоский щелевой	
Круглый конический	
Круглый кольцевой	
Щелевой клинообразный	
С произвольным сечением	

4.5.5. Головки кольцевого профиля

Кольцевые головки (с кольцевым поперечным сечением формирующего канала) подразделяют в соответствии с их назначением на следующие виды:

1) трубные (для получения труб, а также равнотолщинных профилей открытого и закрытого типа с относительно простой конфигурацией сечения (рис. 4.120);

2) раздувные (для получения заготовок расплава в виде цилиндрического рукава с целью последующего раздувания их сжатым воздухом в форме);

3) пленочные (для получения расплава в виде тонкостенного рукава относительно большого диаметра с целью последующего раздувания и вытяжки его к нужной толщине стенки);

4) кабельные (для наложения изолирующего полимерного покрытия на проходящий через головку провод или защитного покрытия на кабель, также используются для наложения тонких защитных покрытий на тросы, канаты и т. д.).

Трубные головки имеют преимущественно прямоточную конфигурацию (рис. 4.120), удобную с точки зрения приема экструдруемых труб, которая обеспечивает практически полное равенство длин всех линий течения. Таким образом, сама конструкция головки предусматривает выравнивание потока на выходе из кольцевой щели. Поэтому заложенная в конструкцию возможность радиального перемещения мундштука путем отжимных болтов с целью регулирования высоты щели формующего зазора имеет только корректирующий смысл: компенсация значительной неоднородности экструзии из-за систематической разности вязкости расплава в разных точках поперечного сечения канала головки (эта неоднородность вязкости может быть вызвана неоднородным распределением температуры в теле головки).

Конструкция головки, изображенная на рис. 4.120, традиционная. При проектировании таких головок необходимо обращать особое внимание на надежную теплоизоляцию элементов, которые подводят к калибровочному устройству холодную воду от деталей, изготавливаемых в головках такого типа, как правило, близких к диаметру червяка экструдера.

На одной трубной головке возможна экструзия труб разного диаметра и толщины в определенном диапазоне путем замены комплекта дорна и мундштука. В связи с этим элементы крепления мундштуков и дорна в головке необходимо конструировать быстроъемными.

Практикой установлено, что для экструзии труб с диаметром от 20 до 1000 мм достаточно четырех типоразмеров головок: I – от 20

до 115 мм; II – от 125 до 400 мм; III – от 400 до 650 мм, IV – от 650 до 1000 мм.

Каждый из этих типоразмеров имеет свои особенности конструкции, которые обусловлены преимущественно разными приемами монтажа-демонтажа и чистки каналов в связи со значительным различием габаритов и массы как отдельных деталей, так и головок в целом.

Головка для изделий закрытого типа с калибровкой по внутреннему диаметру посредством охлаждающего дорна показана на рис. 4.131.

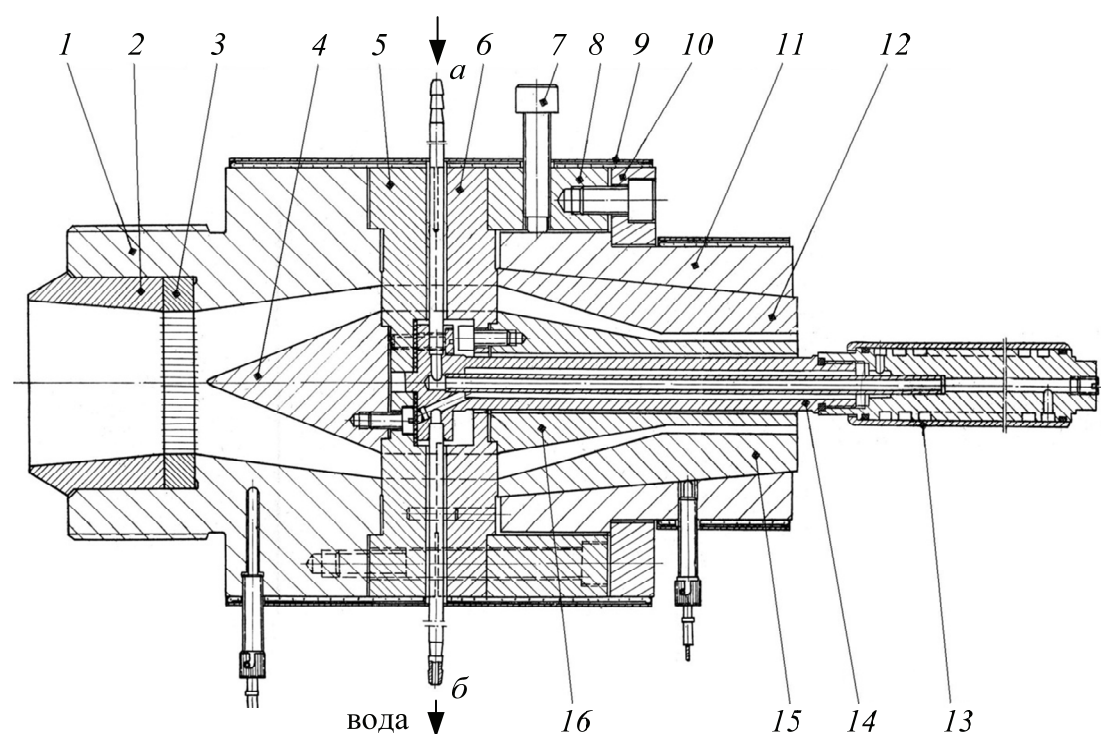


Рис. 4.131. Головка для изделий закрытого типа с калибровкой по внутреннему диаметру:

- 1 – корпус головки; 2 – переходник; 3 – решетка и сетки;
- 4 – рассекатель; 5 – задняя половина дорнодержателя;
- 6 – передняя половина дорнодержателя; 7 – регулировочные винты;
- 8 – корпус обоймы мундштука; 9 – пластинчатые электронагреватели;
- 10 – фланец; 11 – обойма мундштука; 12, 15 – мундштук;
- 13 – калибрующий дорн; 14 – держатель калибрующего дорна

В корпус головки 1 вставлен переходник 2, который прижимает решетку и сетки 3. Рассекатель 4, закреплен при помощи винтов в задней половинке дорнодержателя 5, в передней половинке дорнодержателя 6 – дорн 16. Внутри дорна винтами закреплен приемник

калибрующего дорна 14, который изолирован от задней половинки дорнодержателя резиновой прокладкой. Концентричность выходного зазора для полимера регулируется посредством винтов 7, помещенных в корпус обоймы мундштука 8. Обогрев головки осуществляется пластинчатыми электронагревателями 9. Фланец 10 прижимает посредством винтов обойму мундштука с мундштуком 12, 15 к корпусу. Подача охлаждающей жидкости в калибровочный дорн 13 осуществляется через штуцер а по каналам внутри держателя калибрующего дорна 16, выходит охлаждающая жидкость через штуцер б.

Все другие головки кольцевого типа угловые, т. е. обеспечивают поток расплава на определенный угол относительно к оси шнека.

Раздувные головки одноручьевые и многоручьевые рассмотрены в подразделе 4.3.2.

Пленочные головки формируют тонкостенный рукав для последующего раздувания в рукавные пленки. Диаметр кольцевого зазора таких головок превышает 1500 мм. Толщина формующего зазора на выходе – 0,35–1 мм в зависимости от окончательной толщины пленки и степени раздува. При таком зазоре и большом диаметре тяжело достигнуть желаемой однородности экструзии, поэтому подпорное кольцо 14 (рис. 4.132) необходимо исполнять не очень твердым и оснастить его винтами 16 и 12, чтобы они могли не только перемещать кольцо, но и при необходимости деформировать его, придавая нужную конфигурацию. Возможность регулирования щели в разных точках по периметру несколько ограничена, поскольку убывание зазора в одном месте неизбежно сопровождается увеличением его в другом месте, что необходимо предвидеть при регулировке.

Работает головка (черт. 4.132) следующим образом. Расплав полимера из экструдера через сетки и решетки 2, 3 попадает в переходник 1 и оттуда по каналу подается в зазор между корпусом головки 4 и дорнодержателем 5, дорном 15 и корпусом мундштука 10, обоймой 9. Воздух для раздувания рукава подается через штуцер 7 при открывании вентиля 6. Температурный режим головки поддерживается электронагревателями сопротивления 8.

Для выравнивания потока вслед за участком подводного канала переменной длины обычно выполняют одно или несколько местных увеличений поперечного сечения (по назначению эквивалентных дополнительным коллекторам), которые перераспределяют поток расплава и выравнивают давление по периметру поперечного сечения подводного канала.

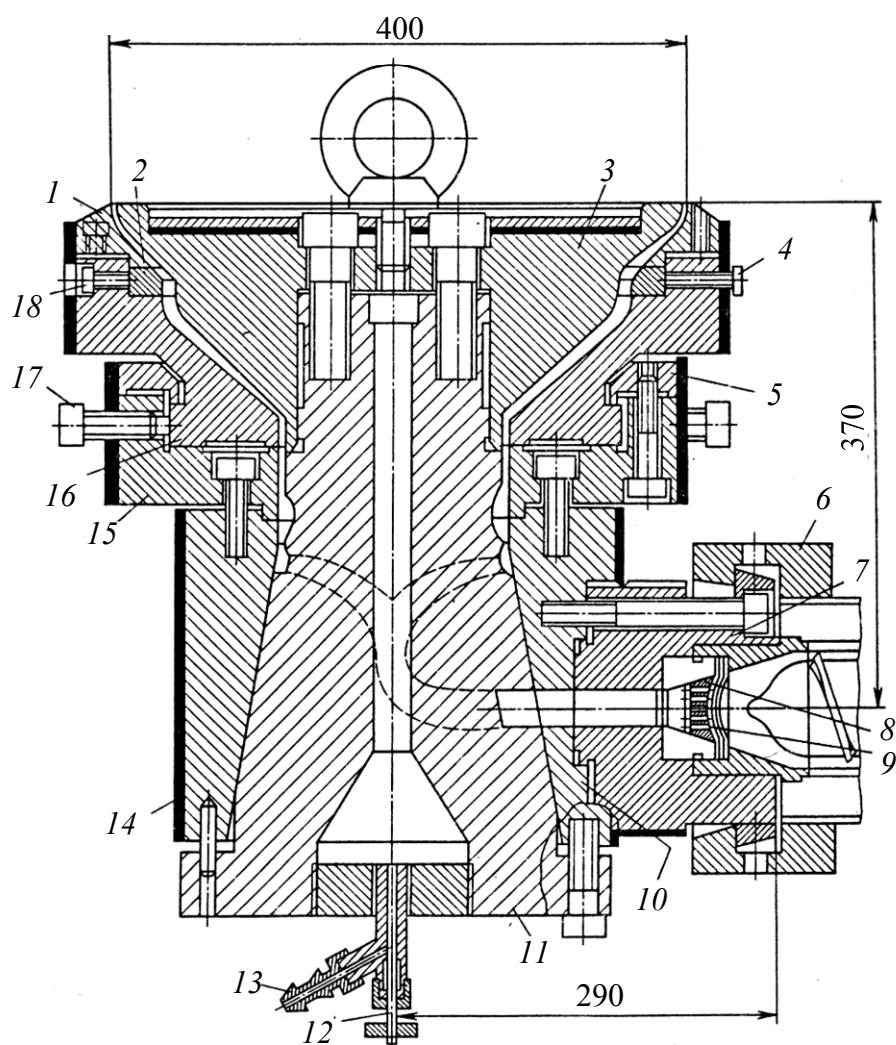


Рис. 4.132. Пленочная кольцевая головка:

1 – мунштук; 2 – подпорное кольцо; 3 – дорн; 4, 17, 18 – регулировочные винты; 5 – прижимное кольцо корпуса мунштука; 6 – фланец; 7 – переходник; 8 – решетка; 9 – сетки; 10 – корпус головки; 11 – дорнодержатель; 12 – вентиль; 13 – штуцер; 14 – электронагреватель сопротивления; 15 – обойма мунштука; 16 – корпус мунштука

Особое внимание при конструировании таких головок должно быть обращено на надежность крепления дорна 3 к дорнодержателю 11 и последнего – к корпусу головки, потому что из-за достаточно большой площади конического расширения подводного канала давление расплава в нем создает значительное распорное усилие, способное расчленил соединение указанных деталей. Дорнодержатель в системе каналов с выравнивающими давление коллекторами вместе со следующими за ними участками переменной длины должен

иметь достаточную твердость на изгиб. Даже незначительный изгиб из-за очень небольшой круговой неоднородности поля давления в большом коническом подводном канале может привести к существенным сменам высоты формовочной щели на выходе.

Кабельные головки, как и трубные, относят к категории кольцевых. Однако в этих головках внутренняя поверхность кольцевого зазора образуется изолируемым кабелем, протягиваемым через головку со скоростью, которая доходит до 2000 м/ч.

На рис. 4.133 показана головка для нанесения полимерного покрытия на изолируемую жилу или кабель (диаметром до 150 мм).

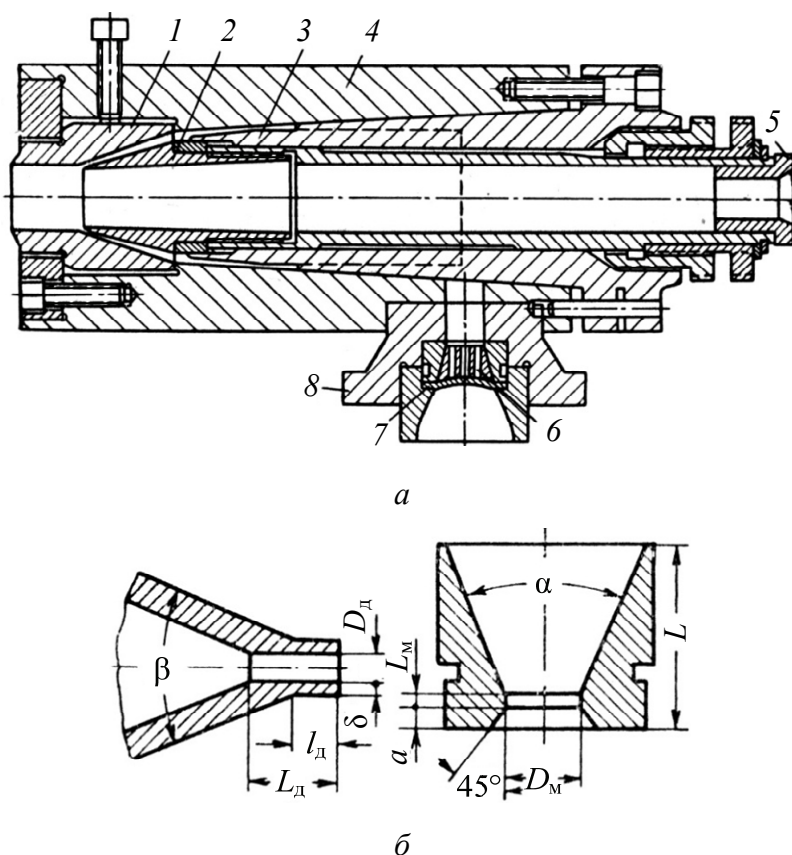


Рис. 4.133. Кабельная кольцевая головка
1 – матрица; 2 – дорн; 3 – дорнодержатель; 4 – корпус;
5 – втулка; 6 – решетка; 7 – сетки; 8 – фланец

Дорн 2, матрицу 1 и втулку 5, которая служит направляющей для кабеля, делают съемными, что позволяет в одной головке получить изделия разных размеров. Диаметр выходного отверстия дорна D_d (рис. 4.133, б) должен быть всегда больше, чем фактический диаметр

жилы для предотвращения возможности обрыва провода в процессе изготовления изделия. Диаметр выходного отверстия матрицы D_m должен быть несколько меньше, чем номинальный диаметр изолируемой жилы, в другом случае упругие свойства расплава полимера не позволяют получить изоляцию заданной толщины. Калибровочная часть дорна длиной l_d при свободном наложении изоляции на жилу или кабель предназначена для центровки кабеля или жилы, а часть длиной L_d исполняет роль направляющей втулки. Калибровочная часть матрицы длиной L_m (в виде цилиндрического канала) дает возможность сгладить завихрения в потоке расплава, которые попадают из конической части матрицы. Это позволяет уменьшить разбухание после выхода оболочки из кольцевого зазора. Толщина стенки дорна δ около выходного отверстия из-за больших усилий не должна быть больше, чем значение, определенное расчетом и практикой. Матрица после цилиндрической части должна обязательно иметь конический участок (угол $45\text{--}60^\circ$) длиной a , необходимый для устранения шероховатости на поверхности изоляции. Угол β между геометрической осью дорна и образующей его наружного конуса должен быть меньше, чем угол $\alpha / 2$ между осью матрицы и ее образующей внутреннего конуса. Соотношениями этих углов определяются изменения кольцевого зазора, который образуется дорном и матрицей в собранном виде.

4.5.6. Плоскощелевые головки

Плоскощелевые головки используются для получения листов и пленок, а также расплава в виде пленки с последующим нанесением его на какую-либо основу (бумагу, картон, ткань, фольгу и т. д.).

Ширина экструдированных листов и пленок может достигать 1,5 и более метров. В связи с этим при проектировании плоскощелевых головок особенно важно максимально возможное удовлетворение следующих требований к конфигурации канала головки, являющихся в принципе общими для всех типов головок: 1) равенство гидравлических сопротивлений по всем линиям тока (траекториям движения в канале всех входящих в него элементарных порций расплава); 2) минимально возможные длина канала и площадь его поверхности.

Выполнение первого требования обеспечивает соблюдение условия равенства элементарных расходов во всех точках по ширине выходного поперечного сечения формующего канала и, следовательно, получение равнотолщинного листа (пленки).

При выполнении второго требования усилия от давления расплава в канале, действующие на его стенки, минимальны. Требуемая жесткость конструкции головки и прочность ее элементов в этом случае обеспечиваются при минимальной металлоемкости, что очень важно, так как эти усилия в больших головках могут достигать 10–30 МПа, а масса их может достигать 800–1500 кг.

По способу подвода расплава к формующему каналу (т. е. по типу и конфигурации переходного канала) плоскощелевые головки можно разделить на два основных типа: 1) треугольные головки, в которых переходный канал выполнен в виде треугольной в плане и плоской или монотонно сужающейся по высоте щели (рис. 4.134, *а*); 2) коллекторные головки, в которых переходный канал выполняется в виде коллектора (распределителя), имеющего круглое или овальное поперечное течение (рис. 4.134, *б*).

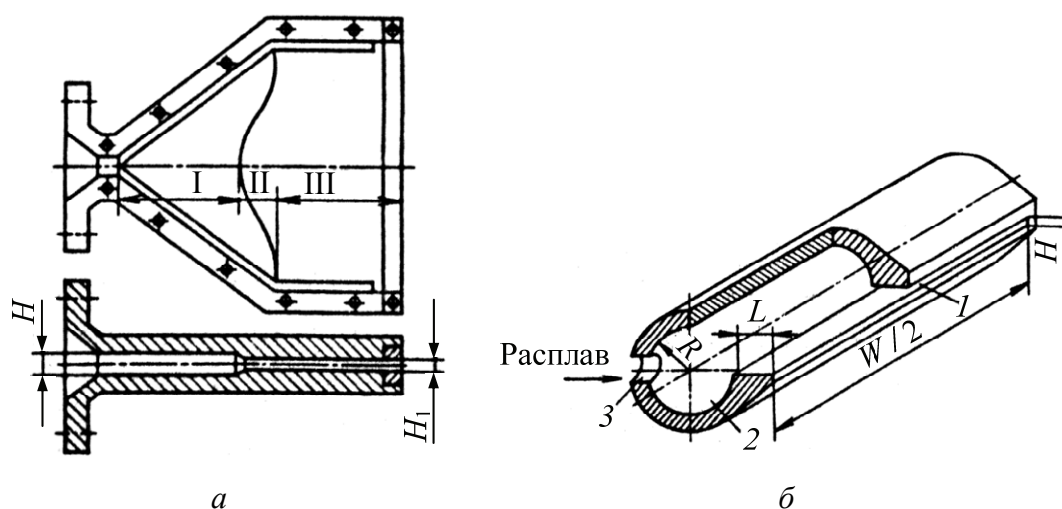


Рис. 4.134. Плоскощелевые головки

Конструкция головки первого типа (см. рис. 4.134, *а*) называется треугольной. Здесь расширяющаяся входная зона I переходит в зону II выравнивания отмеченного выше гидравлического сопротивления по ширине формующего канала и затем в зону формующего канала III. Основной недостаток этих головок заключается в том, что площадь канала велика. Под воздействием давления в канале

верхняя и нижняя относительно нежесткие стенки выпучиваются, что влечет за собой искажение конфигурации формующего канала, тем более чувствительное, чем меньшую высоту он имеет.

В щелевых головках второго типа (коллекторных) расплав подводится к формующей щели 1 шириной W и высотой H при помощи специальной трубы (коллектора 2 радиусом R), расположенной параллельно фронту щели. Коллектор соединен с подводным каналом 3 одним концом или серединой (как на рис. 4.134, б). Явление выпучивания стенок формующего канала в данном типе менее существенно вследствие большей общей жесткости конструкции и существенно меньшей общей площади всего канала. К тому же вредное влияние выпучивания на размеры формующего канала может быть практически устранено. Однако головки этого типа в отличие от предшествующего имеют потенциально возможные зоны застоя расплава («мертвые зоны») в концевых участках коллектора, поэтому переработка на них термочувствительных материалов (например, непластифицированного ПВХ) нежелательна.

Конструктивно устройства для регулирования высоты щели в коллекторных и треугольных головках не отличаются. Для толстых листов они показаны на рис. 4.135.

В варианте *а* рабочим органом устройства является набор планок 9 , перемещаемых в вертикальном направлении шпильками 1 , которые приводятся в движение резьбовыми втулками 2 . При опускании одного из ползунів зазор между овальной поверхностью ползуна и рабочей поверхностью нижней половины головки уменьшается, что вызывает локальное уменьшение расхода q в этом месте ширины формующего канала, образованного губками 10 и 11 . В варианте *б* локальное регулирование высоты канала обеспечивается горизонтальным смещением одного из ползунів 2 , осуществляемым винтами 8 .

Как видно, в том и другом вариантах невозможно осуществить монотонное изменение высоты канала по его ширине, оно оказывается ступенчатым вследствие конечного числа ползунів. На выходящем из формующего канала расплаве могут оставаться следы от места стыка двух соседних ползунів. Большие сложности возникают в изготовлении головки при тщательной подгонке ползунів по посадочным местам во избежание зазоров, в которые мог бы затекать расплав, подвергаясь при этом деструкции.

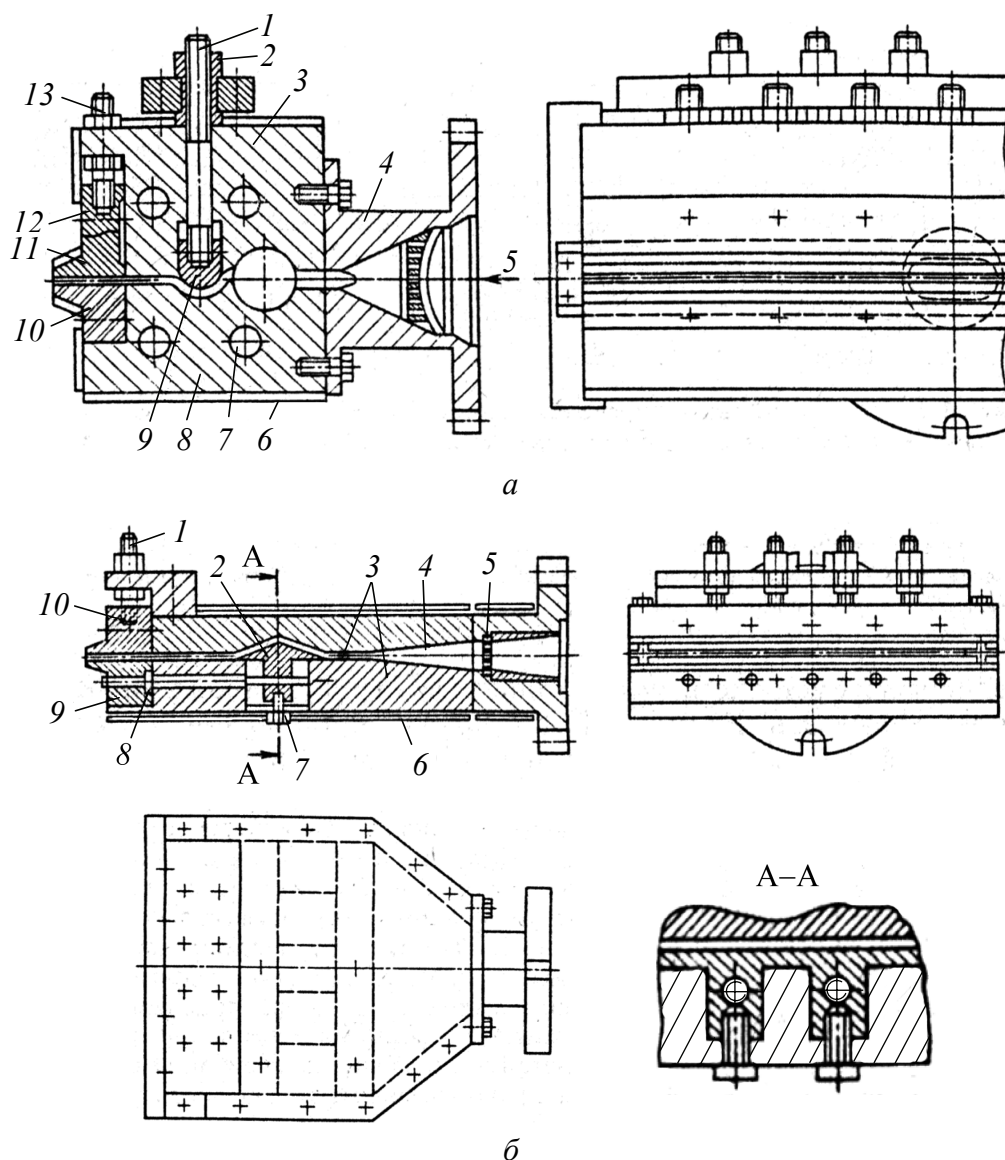


Рис. 4.135. Устройства для регулирования высоты щели в головках:
а: 1 – регулировочная шпилька; 2 – резьбовая втулка; 3, 8 – корпус;
 4 – переходник; 5 – поток расплава полимера; 6 – ленточные электронагреватели;
 7 – отверстия для ТЭНов; 8 – набор планок; 9 – набор планок; 10, 11 – губки;
 12 – устройство фиксации верхней губки; 13 – регулировочный винт верхней губки;
б: 1 – регулировочный винт верхней губки; 2 – регулировочные ползуны;
 3 – корпус головки; 4 – конусообразный канал для расплава; 5 – решетка
 и сетки; 6 – ленточные электронагреватели; 7 – механизм фиксирования ползу-
 на; 8 – механизм регулирования положения ползуна 9, 10 – губки

Несколько лучшей является модификация варианта *а*, в которой рабочий орган выполнен не в виде отдельных ползунов, а в виде сплошной планки 9, имеющей малую изгибную жесткость, благодаря

чему с помощью шпилек *1* ей удастся придавать желаемую конфигурацию. Очевидно, что возможный диапазон разностей высот канала, обеспечиваемых упругой планкой, намного меньше, чем обеспечиваемых ползунами. Поэтому упругая планка применяется в головках для относительно тонких листов, т. е. там, где эти малые разности высот тем не менее оказываются большими по отношению к полной высоте канала.

При экструзии тонких листов и пленок абсолютное значение изменения высоты щели вдоль ее ширины еще меньше, поэтому появляется возможность осуществить эти перемещения, не вводя подвижных дросселирующих устройств, так как они являются причиной возникновения застойных зон.

Экструзионная головка для производства листов и плоских лент преобразует начальную круглую форму расплава в плоский прямоугольный лист. Распределение расплава осуществляется при помощи коллектора, за которым следует участок, называемый участком сопротивления течению или формирующим участком.

Как показано на рис. 4.136 и 4.137, расплав поступает в головку через центральный канал, а затем симметрично растекается в обе стороны, в результате чего формируется плоский экструдат с одинаковой толщиной стенки.

Для обеспечения максимально равномерного распределения потока по ширине головки необходимо проектировать геометрию канала с учетом свойств материала, установленных рабочих режимов переработки и реологических параметров течения.

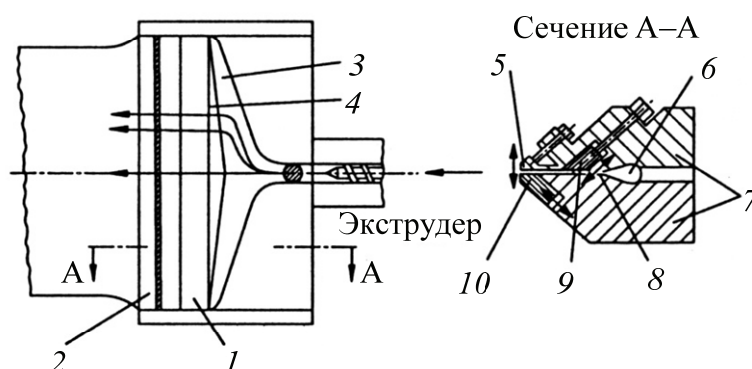


Рис. 4.136. Плоскощелевая головка для экструзии плоской ленты:

- 1* – губка; *2* – место регулирования расхода; *3* – коллектор;
4 – вытесняющий островок; *5* – гибкая губка; *6* – коллектор;
7 – корпус головки; *8* – формирующий участок; *9* – регулирующая планка
с индивидуальной настройкой; *10* – регулируемая губка

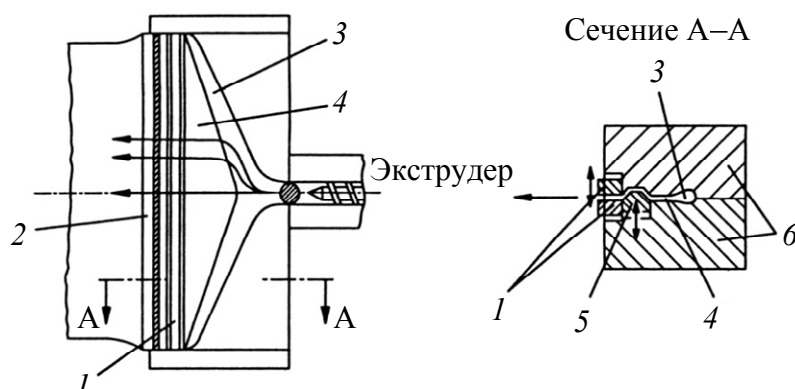


Рис. 4.137. Плоскощелевая головка для экструзии листов:
 1 – губка; 2 – место регулирования расхода; 3 – коллектор;
 4 – вытесняющий островок; 5 – регулирующая планка
 с индивидуальной настройкой; 6 – корпус головки

Неоднородности течения при прохождении расплава через головку возникают почти всегда. Существует несколько методов их регулирования. В головках, предназначенных для экструзии плоских листов, локальные неоднородности в скорости течения сглаживаются за счет изменения высоты зазора между формующими губками головки. Это может достигаться, например, путем затягивания нажимных винтов, расположенных по ширине головки. В результате этого регулируют локальный прогиб гибкой губки и проходное сечение канала и соответственно локальный расход расплава (рис. 4.136). Вследствие ограниченной способности стали к упругим деформациям максимальные прогибы губок не должны быть более 2 мм. Благодаря упругости стали и давлению расплава губка восстанавливает форму.

В некоторых редких случаях головки для экструзии плоских листов содержат дополнительное устройство, называемое регулирующей планкой (рис. 4.136). Эта планка представляет собой массивный локально деформируемый профильный брусок, с помощью которого можно проводить лишь грубую настройку равномерности выхода расплава.

В головках, предназначенных для экструзии листов и толстых плит, регулирующая планка является стандартной деталью, которая позволяет обеспечить равномерность распределения расплава. Тем не менее и в этом случае для тонкой настройки используются гибкие губки (рис. 4.137).

Обычно длина формующих губок в продольном направлении для широкощелевых головок составляет от 30 до 90 мм, хотя в отдельных случаях может быть значительно больше.

В зависимости от фактических значений разбухания или вытяжки расплава перерабатываемого материала зазор между параллельными губками может увеличиваться или уменьшаться на несколько процентов, что позволяет добиться требуемой толщины экструдата. Однако этот метод приемлем лишь в случаях, когда не производится целенаправленная вытяжка расплава после выхода его из экструзионной головки.

Зазоры на выходе из экструзионных головок для производства плоских лент и нанесения покрытий на субстраты составляют 0,25–0,70 мм, ширина головки обычно лежит в пределах от 1500 до 4000 мм.

Методом экструзии можно получать листы и плиты толщиной до 40 мм и шириной до 4000 мм. Рабочая ширина плоскощелевой экструзионной головки может быть уменьшена за счет использования подвижных или сменных губок или же с помощью обтекаемых вставок, регулирующих ширину щели.

Основной задачей проектирования каналов плоскощелевых экструзионных головок является получение максимально равномерного распределения скоростей по всей ширине выходного сечения. Для преобразования цилиндрического потока расплава, поступающего из экструдера на входе в головку, в плоское течение на выходе, необходимо разработать специальную систему каналов. Существует несколько типов таких систем, наиболее используемые из которых показаны на рис. 4.138.

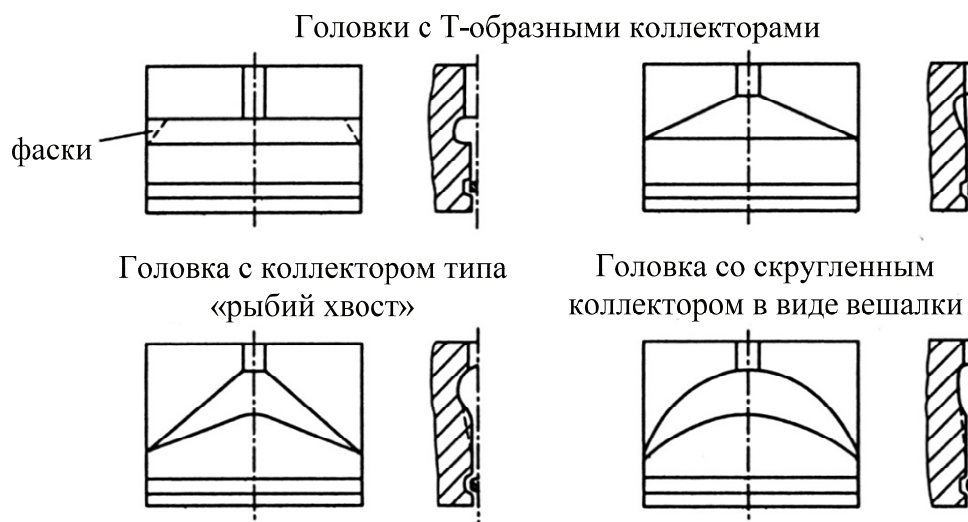


Рис. 4.138. Типы систем каналов для преобразования цилиндрического потока расплава в плоское течение

Они известны как Т-образный коллектор, V-образный коллектор, называемый также «рыбий хвост», и закругленный коллектор в виде «вешалки». Головки с коллектором в виде вешалки в настоящее время используются чаще других. Это объясняется тем, что если коллектор этого типа правильно сконструирован, он обеспечивает хорошее распределение расплава, в значительной мере не зависящее от рабочего режима.

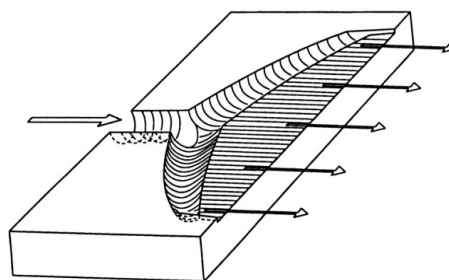


Рис. 4.139. Сложная геометрия коллектора в форме вешалки

Недостатком головок со скругленным коллектором в форме вешалки являются высокие затраты на изготовление из-за его сложной геометрической конфигурации (рис. 4.139).

Плоскощелевые головки с коллектором Т-образной формы имеют довольно простую конструкцию, поэтому их изготовление обходится намного дешевле. Чаще всего они применяются на линиях для нанесения покрытий. Головки этого типа не рекомендуются для переработки термочувствительных материалов. Распределение скоростей течения в таких головках можно оптимизировать путем изменения геометрической конфигурации коллектора, а также за счет использования регулирующих планки.

Головки с коллектором типа рыбий хвост по качеству распределения расплава и затратам на изготовление занимают промежуточное положение между двумя ранее упомянутыми системами. Как и в случае с Т-образным коллектором, коллектор в форме рыбьего хвоста сам по себе не обеспечивает достаточно равномерного распределения, поэтому для коррекции течения необходимо использовать дополнительные элементы, например регулирующие планки.

Усложнение геометрии канала экструзионной головки предъявляет более высокие требования к технологии изготовления, что приводит к повышению стоимости головки. Поэтому при выборе систем распределения расплава часто принимаются компромиссные решения, являющиеся промежуточными между теоретически обоснованными и реально применяемыми на практике. На стоимость плоскощелевой экструзионной головки существенно влияет еще один фактор – поверхность головки, находящаяся под давлением. По мере увеличения поверхности необходимо увеличивать силу затяжки крепежных винтов для предотвращения изменения формы

внутренней полости экструзионной головки. Это явление известно как вспучивание внутренней полости головки. Если форма внутренней полости нарушается, это оказывает негативное влияние на распределение толщины по ширине ленты.

Все плоскощелевые головки, представленные на рис. 4.140, имеют так называемое центральное осесимметричное распределение. Это означает, что распределительный канал образуется обеими частями экструзионной головки (как верхней, так и нижней). В головках с центральным асимметричным распределением распределительный канал выполняется лишь в одной из частей головки, тогда как другая часть головки остается плоской. Такие головки проще и дешевле в изготовлении, однако по сравнению с симметричными они имеют ряд недостатков, вызванных особенностями течения.

Падение давления при течении расплава через плоскощелевые головки составляет до 200 бар. Головки для нанесения покрытий работают при значительно более низких потерях давления, так как материалы, используемые в качестве покрытий, имеют более низкую вязкость при температурах переработки.

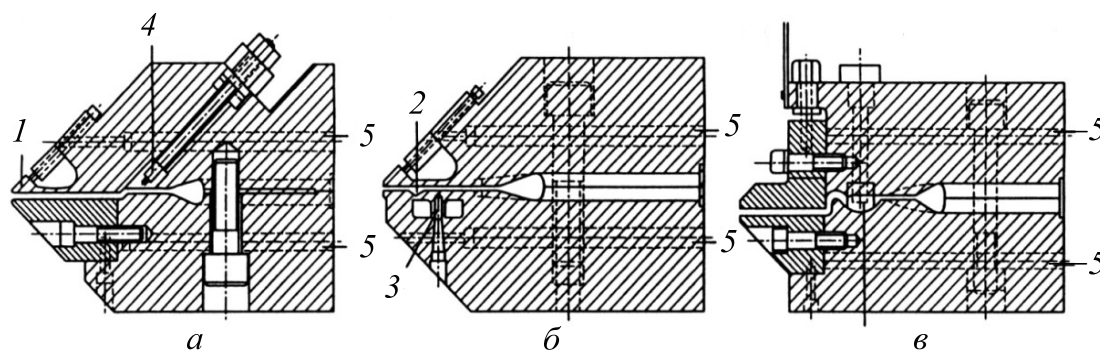


Рис. 4.140. Плоскощелевые экструзионные головки:

- а* – головка для производства пленок и тонких листов; *б* – головка для производства пленок; *в* – головка для изготовления толстых листов и плит;
 1 – гибкая губка; 2 – поперечный канал для выравнивания потока;
 3 – локально деформируемая стенка канала; 4 – регулирующая планка;
 5 – патронный нагреватель

При переработке высоковязких расплавов давление на входе в экструзионную головку может достигать 400 бар. В этих случаях, чтобы головка выдержала воздействие таких высоких давлений, необходимо принимать дополнительные меры предосторожности. Этого можно добиться с помощью запирающих механизмов. Та же

цель может быть достигнута и за счет использования так называемых моноблочных головок, состоящих из единственного механически стабильного и высокопрочного U-образного блока.

На рис. 4.140 показаны наиболее часто применяемые типы регулирующих планок. К их числу относится планка, устанавливаемая под углом 45° к направлению течения (рис. 4.140, *а*). Такие головки обладают значительными преимуществами с точки зрения распределения потока. Однако при использовании таких регулирующих планок, как и при применении планки, показанной на рис. 4.140, *в*, возможно возникновение застойных зон. В таких зонах часто возникают дефекты, например, термическое разложение перерабатываемого материала, а также отложения добавок, наполнителей, пигментов и т. д. Именно по этой причине головки, предназначенные для экструзии ПВХ, по возможности, проектируются без применения регулирующих планок.

Настройка регулирующей планки, т. е. ее локальный изгиб по ширине головки, осуществляется с помощью вытяжных и нажимных винтов, чередующихся по ширине головки на расстояниях 40–60 мм друг от друга. В некоторых случаях используются дифференциальные нажимно-вытяжные винты или винты, которые при вращении их по часовой стрелке или против часовой стрелки перемещают планку вверх или вниз соответственно. Гибкие (локально деформируемые) губки широко применяются для экструзии пленок и покрытий, так как они допускают относительно точную настройку распределения толщины по ширине изделия, не внося при этом заметных возмущений в течение. Более того, такая регулировка возможна только в процессе работы экструзионной машины, что имеет большое значение при использовании перемещаемых губок. В этом случае возможна лишь грубая настройка вследствие трения между губками и корпусом головки, а также из-за возможного различия настроек регулирующих винтов.

Головка с еще одной интересной возможностью регулирования распределения расплава показана в центре на рис. 4.140, *б*. В этом случае в нижней части экструзионной головки за счет уменьшения толщины стенки области, примыкающей к воздушной полости в корпусе, по всей ширине образуется мембрана. При регулировании толкающих винтов она незначительно деформируется, что позволяет обеспечить дополнительные возможности по изменению локальных расходов течения.

За мембраной по всей ширине головки проходит поперечная канавка, которая примыкает к верхнему регулируемому элементу головки. Назначение этой канавки состоит в выравнивании давления и, следовательно, выравнивании потоков по ширине головки.

Регулирование равномерности течения с помощью регулирующих планок и путем настройки губок особенно сложно для широких экструзионных головок, так как в этом случае количество регулирующих винтов довольно велико. Поэтому правильная настройка головки требует от оператора большого опыта и интуиции.

Многие широкие плоскощелевые экструзионные головки оборудуются электроуправляемыми настроечными элементами, позволяющими задать требуемый изгиб губок и регулирующих планок.

На рис. 4.141 показана наиболее отработанная и широко распространенная конструкция системы управления настройкой губок. В этой системе гибкая губка управляется терморасширяющимся болтом, удлинение которого происходит за счет электронагрева. Когда регулирующая система нагрева болта отключена, губки могут быть быстро перенастроены путем дополнительного воздушного охлаждения терморасширяемого болта. Эта система успешно применяется для автоматического управления толщиной экструдированных плоских листов.

Недавно была продемонстрирована экструзионная головка, в которой в качестве элементов управления настройкой губок использованы пьезоэлектрические преобразователи. В зависимости от величины приложенного электрического напряжения такие пьезоэлектрические преобразователи могут изменять длину настроечного винта от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Время их реакции составляет всего лишь несколько миллисекунд, поэтому на их основе можно создать чрезвычайно быстрые элементы управления.

Широкощелевые экструзионные головки обычно нагреваются электрически: либо с помощью патронных электронагревателей,

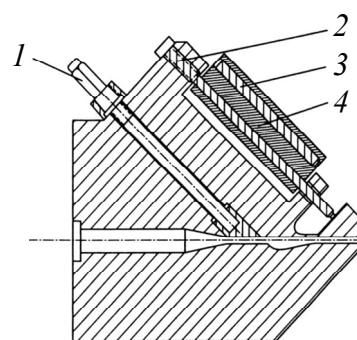


Рис. 4.141. Плоскощелевая экструзионная головка с терморасширяющимися настроечными болтами, регулирующими величину зазора между губками (система фирмы «Welex», США):

1 – настроечный болт для регулирования планки; 2 – болт для регулирования губок; 3 – нагрев болта; 4 – нагревательный блок

размещающихся в корпусе головки, или же с помощью плоских нагревателей, размещаемых на внешней стороне корпуса головки. В стадии экспериментальной эксплуатации находятся индукционные нагревательные системы. Для получения максимально равномерного распределения температур по ширине экструзионной головки иногда применяются тепловые трубки, зарекомендовавшие себя как высокоэффективные теплопроводы.

При использовании экструзионных головок с массивными губками, а также в случае переработки труднотекучих материалов в дополнение к стандартным системам для нагревания губок иногда применяют дополнительные нагревательные элементы в форме стержней, расположенные в продольном направлении.

4.5.7. Головки для производства сложного профиля

Конфигурация поперечных сечений производимых профилей очень разнообразна, поэтому каждая головка для фасонного профиля представляет собой новую конструкцию. Но необходимо выделить ряд отдельных положений, которые указывают на пути правильного конструкционного оформления этих головок.

Этапом, который предшествует непосредственно конструированию головки, является анализ конфигурации сечения изделия с точки зрения его технологичности, это значит соответствия тем требованиям, которые определяются конкретными особенностями технологии его формования, обеспечивают нужное количество изделий, максимум производительности экструзионного агрегата, удобство обслуживания формующего инструмента (головки и калибрующие устройства) и т. д. Таким же образом, как и при проектировании прессовой, литьевой и другой оснастки, этот этап, как правило, выполняет конструктор головки калибровочного устройства, согласовывая изменения, которые вносит в конфигурацию сечения заказчик изделия.

Основное технологическое требование к изделию – минимально возможная толщина его стенки: производительность агрегата при производстве толстостенных изделий очень низкая из-за небольшой скорости охлаждения; у этих изделий большая материалоемкость, на их поверхности неизбежно возникновение усадочных

вмятин и утяжек. Конфигурацию сечения этих изделий необходимо изменять, выполняя его полым.

Второе технологическое требование к изделию – это его равно-толщинность. Для равнотолщинных профилей обеспечивается равенство скоростей экструзии в разных точках выходного сечения формующего канала. Скорость охлаждения профиля в калибрующем устройстве и охлаждающей ванне также одинаковая в разных местах сечения, в результате чего в материале профиля практически отсутствуют внутренние напряжения, и поэтому изделие не покоробится.

Необходимо избегать профилей с замкнутыми полостями, когда они не требуются согласно с условиями эксплуатации изделия, потому что крепление дорна, который формирует замкнутую полость, более сложное: необходим дорнодержатель с ребрами, а также соединение этой полости с атмосферой через систему отверстий в дорне, ребрах дорнодержателя и корпусе головки.

Профили с замкнутыми полостями и внутренними перегородками, а также ребрами охлаждаются только на внешней поверхности, в связи с чем охлаждение холодных стенок более интенсивное, чем в перегородках. Для обеспечения равенства скоростей их охлаждения (необходимость этого уже отмечалась) толщина перегородок должна выбираться на 20–30% меньше, чем стенок.

Пример одной из конструкций универсальной головки показан на рис. 4.142. Основные детали этой головки можно использовать для производства изделий как открытого типа, так и изделий закрытого типа. В корпусе 2 головки вставлена решетка 3, которая поджимается переходником 1. Обогрев головки осуществляется ленточными нагревателями электросопротивления 4, а контроль ее температуры – термопарой в отверстии 5. Обойма 7 мундштука 8 крепится в корпусе головки за счет гайки 6. Такая конструкция имеет большие преимущества, когда приходится изготавливать небольшое количество изделий разнообразной формы. Переход из одного типа изделий на другой в таких головках решается очень просто. Например, для того чтобы на головке, предназначенной для получения изделий закрытого типа (рис. 4.142), можно было получить изделия открытого типа, достаточно снять дорнодержатель с формующими деталями и установить другие формующие детали со съемным кольцом 9, поставленным вместо дорнодержателя (рис. 4.142). Таким образом, универсальность достигается очень небольшим конструкционным изменением головки.

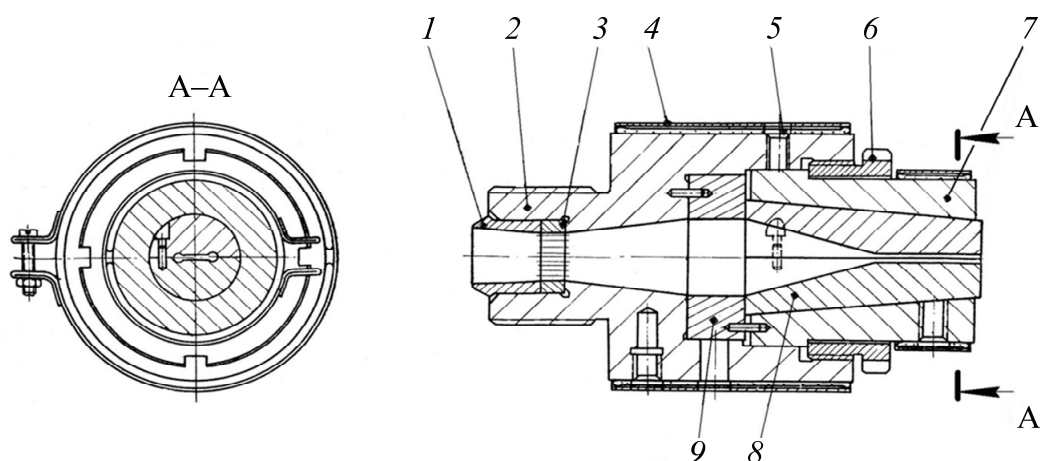


Рис. 4.142. Пример конструкции головки для производства сложного профиля

Когда используется такая конструкция головки, то конструирование сводится в основном к разработке конструкции формующих деталей, которые для каждого изделия имеют свою форму и размеры. При этом основная задача заключается в определении формы и размеров формующей щели.

Входная зона в формующих деталях представляет самые большие сложности при проектировании и изготовлении по причине необходимости обеспечения плавного перехода от простого поперечного сечения средней зоны к сложному сечению формующей щели. Обычно такой переход не удастся осуществить в одной детали. Приходится делать формующие детали разъемными. Сколько делать разъемов и как разместить – решается конкретно для каждого изделия.

При конструировании разъемной матрицы рекомендуется:

а) стремиться к тому, чтобы при минимальном количестве разъемов можно было обеспечить удобство его изготовления и очистки;

б) разъем делать при возможности в одной плоскости, а не ступенчатый или под углом, потому что это облегчает изготовление матрицы, а также ее сборку и разборку;

в) плоскость разъема желательно разместить таким образом, чтобы стык не попадал на внешнюю сторону изделия. Это необходимо потому, что по линии стыка на изделиях остаются следы в виде рисок (другой раз очень заметных). Лучше всего размещать линии стыка на углах фильеры;

г) для точного совмещения разъемных деталей друг с другом ставить штифты в плоскости разъема.

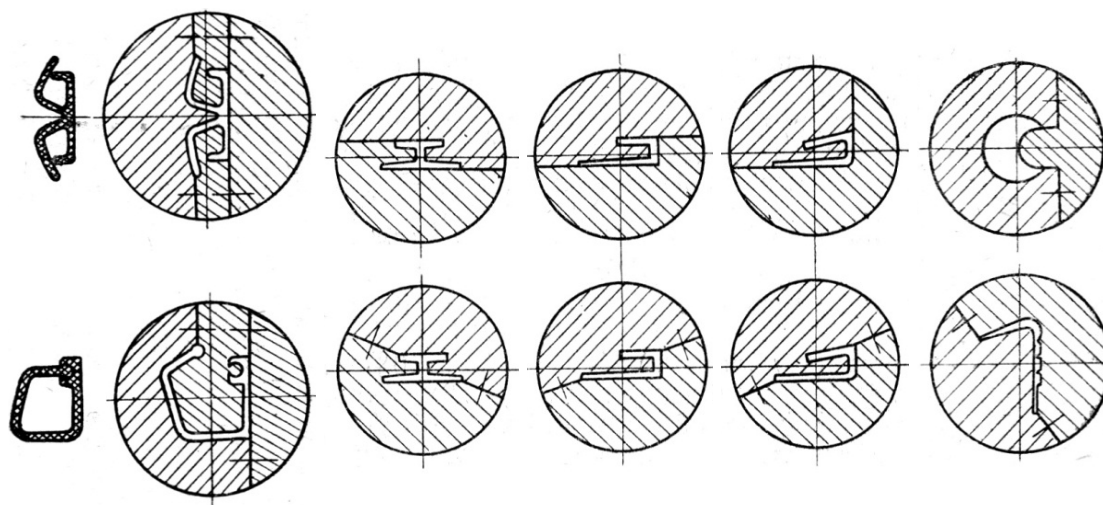


Рис. 4.143. Примеры конструктивных схем матриц для некоторых изделий

Примеры конструктивных схем матриц для некоторых изделий показаны на рис. 4.143.

Давление материала в каналах головки определяет усилия, которые возникают в ее деталях. Нагруженное состояние головки при нормальной работе не должно являться предельным с точки зрения ее прочности.

Тепловой расчет головки сводится к определению мощности электронагревателей. Тепло идет для нагрева головки от комнатной температуры до рабочей за 30–45 мин и на компенсацию тепловых потерь телом головки в окружающую среду. Расчет мощности ведется таким же образом, как и для пресс-форм.

Ступенчатые головки (рис. 4.144) имеют каналы с фасками в местах последовательного соединения коротких плит головки, называемых блендами. В каждой бленде выполняется определенный контур поперечного сечения, на входе в который с краев снимаются фаски для совпадения контуров соприкасающихся деталей.

Такие переходы, так же как и в головках со сменными фильерами, оказывают негативное влияние при переработке жесткого ПВХ, т. е. комментари, сделанные для экструзионных головок со сменными фильерами, относятся и к многоступенчатым головкам. Поэтому и эти головки также применяются только для изготовления простых профилей.

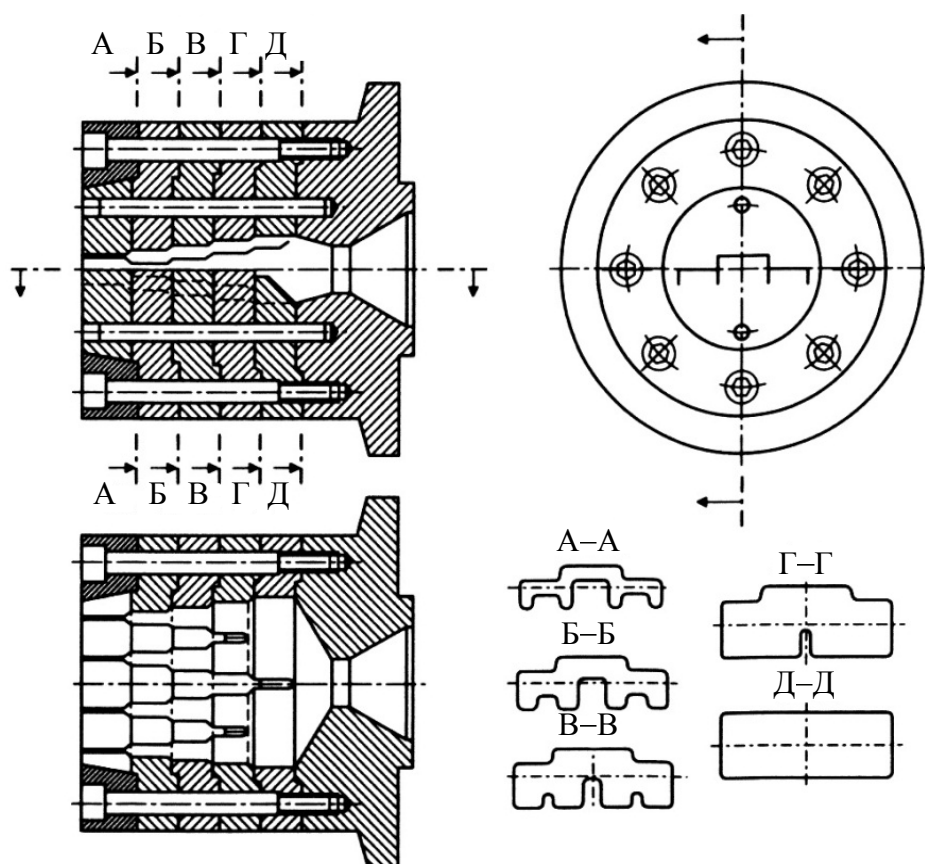


Рис. 4.144. Ступенчатые головки

Экструзионные головки с постепенным изменением поперечного сечения обычно используются в процессе изготовления высокоточных профилей при высокой скорости экструзии (рис. 4.145).

Поэтому при конструировании каналов подобных экструзионных головок необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- в каналах таких экструзионных головок не должно возникать застойных зон;
- с момента входа в такую головку расплав должен, по возможности, плавно ускоряться, пока не достигнет необходимой скорости в формующем участке головки, т. е. непосредственно перед выходом из канала. Следует избегать замедлений течения из-за увеличений площади поперечного сечения, кроме тех, которые вызваны дорнодержателем;
- по мере возможности конструкция головки должна быть простой. Необходимо предусмотреть возможность быстрого демонтажа головки для ее чистки или для изменения геометрии канала (рис. 4.146) при доводке.

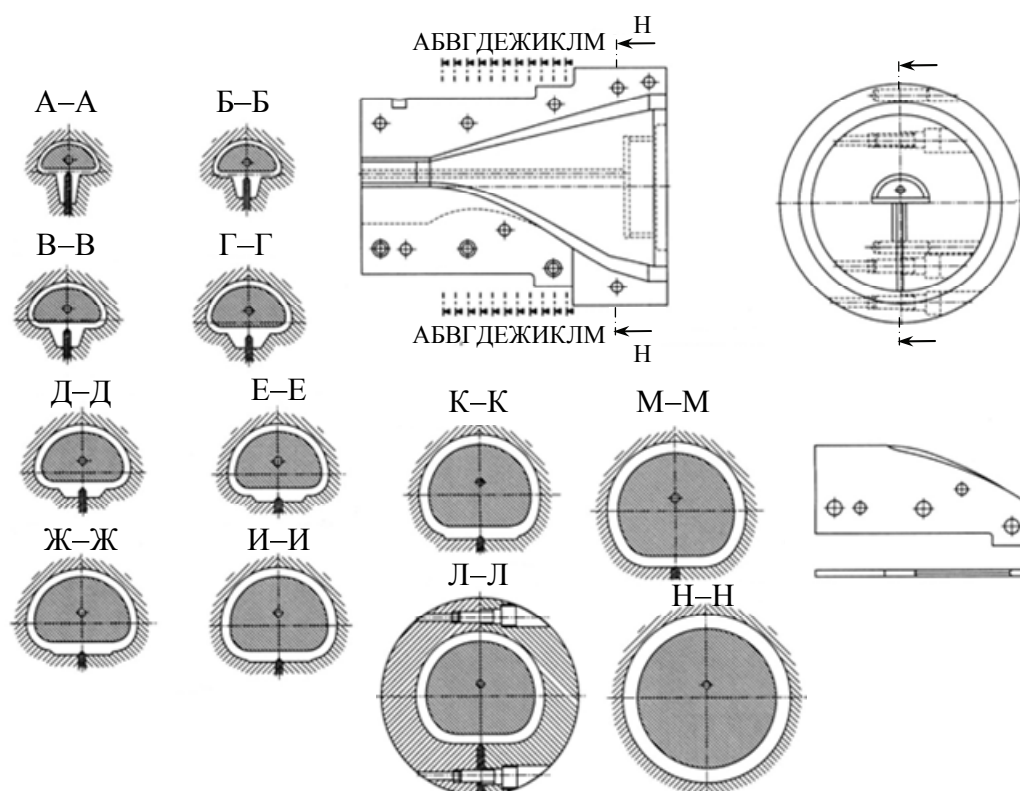


Рис. 4.145. Профильные головки с непрерывно изменяющимся поперечным сечением

С учетом этих требований профильные головки с постепенно изменяющейся формой поперечного сечения канала состоят из трех основных участков:

- участок соединения с экструдером (адаптер);
- переходный участок (на котором иногда расположены детали дорнодержателя);
- формующий участок на выходе с постоянными размерами (фильера).

Эти участки можно видеть на рис. 4.146 и 4.147. Однако такое четкое разграничение не всегда возможно, и часто отдельные участки переходят один в другой (рис. 4.148 и 4.149). Контур формующего участка головки с постоянными размерами часто примерно соответствует контуру профиля.

На рис. 4.145, 4.147 и 4.149 показаны усовершенствованные профильные головки со сложной конфигурацией рассекателей потока (сердечников, дорнов). В отличие от головок для экструзии труб или трубообразных профилей, в этих головках остальные детали жестко связаны с фильерой (или плитой на выходе головки).

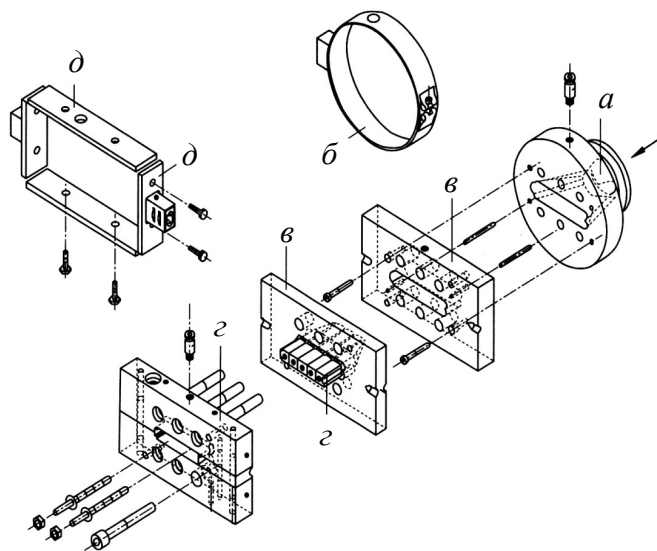


Рис. 4.146. Пример схемы быстрого демонтажа головки:
a – нагреваемый адаптер; *б* – цилиндрический нагреватель;
в – переходный участок (одна плита выполняет роль дорнодержателя);
г – параллельный участок головки (фильера);
д – отверстия для крепления плоского нагревателя

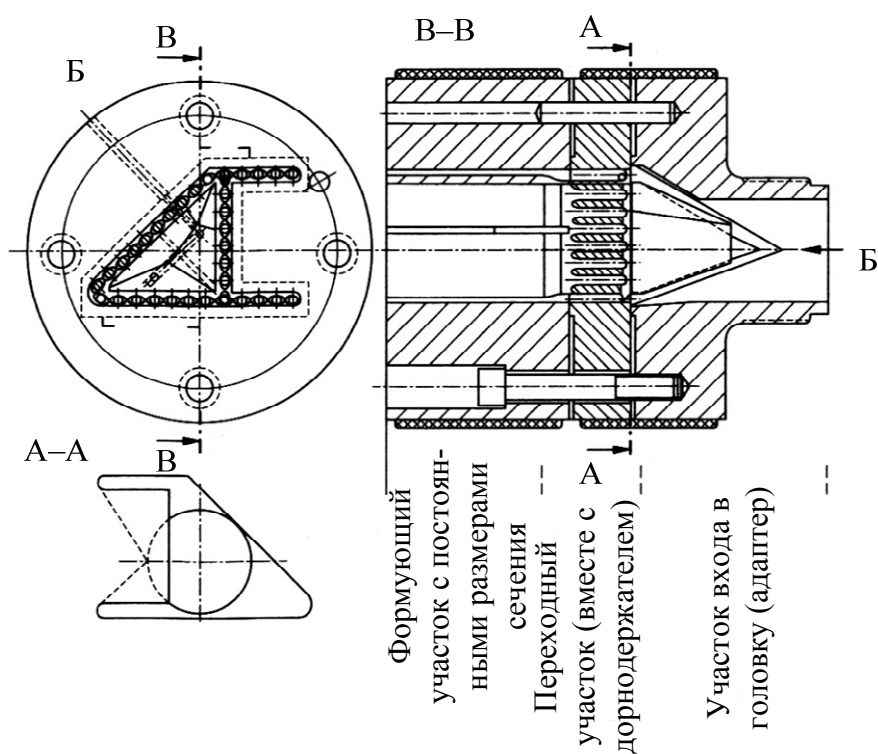


Рис. 4.147. Пример профильной головки со сложным рассекателем потока треугольной формы

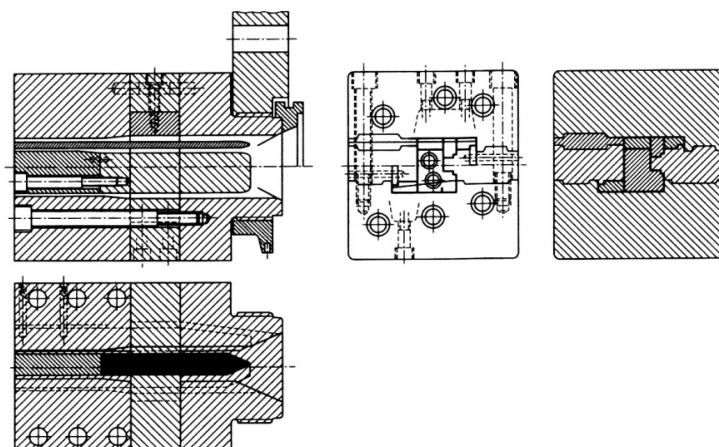


Рис. 4.148. Профильная головка со сложным
рассекателем потока

Поэтому такие головки нельзя регулировать поперечным перемещением мундштука или дорна (центрированием). По конструктивным соображениям спицы дорнодержателя в таких головках иногда выполняют недостаточно механически жесткими, что позволяет дорну, обтекаемому расплавом, самоцентрироваться. Однако данная конструкция может считаться удачной только в случаях, когда геометрическая конфигурация канала разработана правильно. В отличие от головок с дорнодержателем, предназначенных для экструзии трубчатых заготовок, формообразующие сердечники (или дорны) в профильных экструзионных головках обычно изготавливают заодно с опорной плитой, на которой они держатся.

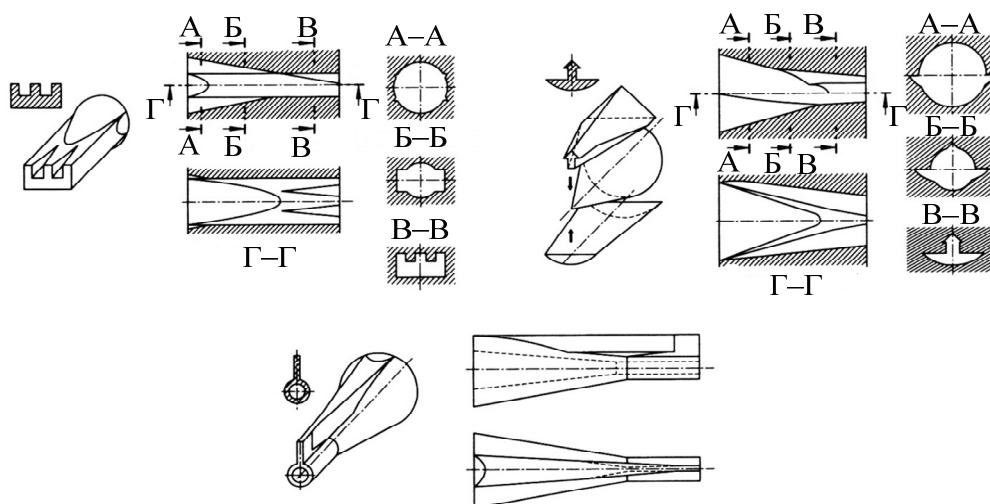


Рис. 4.149. Примеры сложной формы сплошных каналов
в профильных головках

Применение такой конструкции, несмотря на высокую сложность ее изготовления, полностью оправданно, так как сборка элементов сердечника при необходимости их доработки чрезвычайно сложна. В экструзионных головках с осевой подачей расплава спицы дорнодержателя имеют обтекаемую форму, поэтому они не препятствуют течению, а все углы между спицами и корпусом или сердечником сглажены, что не способствует возникновению застойных зон.

На рис. 4.150 показаны лодкообразные углубления за опорными ребрами в направлении течения. Эти углубления предназначены для облегчения проникновения расплава в узкие щели и формирование перегородок в экструдированном профиле.

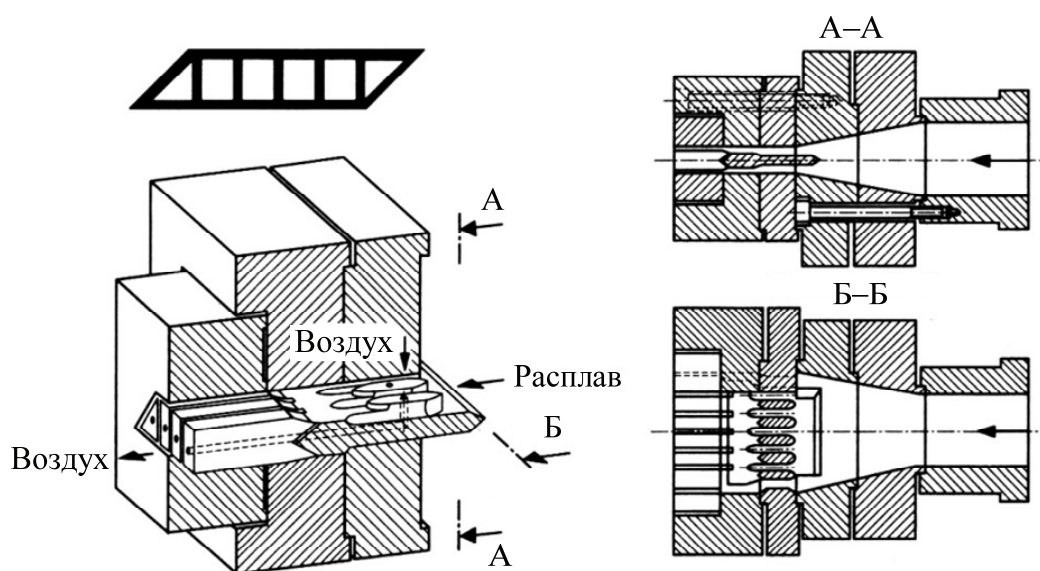


Рис. 4.150. Пример сложного дорна в профильной головке

Кроме того, как показано на рис. 4.150, в полые камеры экструдруемого профиля подается воздух во избежание смятия заготовки на выходе из головки. Это особенно важно на начальных этапах при запуске линии по экструзии профилей. При изготовлении полых профилей подача воздуха должна быть предусмотрена всегда.

Как уже отмечалось выше, необходимо избегать утяжеления отдельных участков профиля. Если два потока расплава должны течь по смежным каналам головки, не сливаясь, можно использовать разделительные перегородки между ними (рис. 4.151). Поскольку перегородка устанавливается не на всей длине, два потока все же сливаются; это позволяет избежать появления постоянной линии стыка (и, следовательно, дефекта) в готовом изделии.

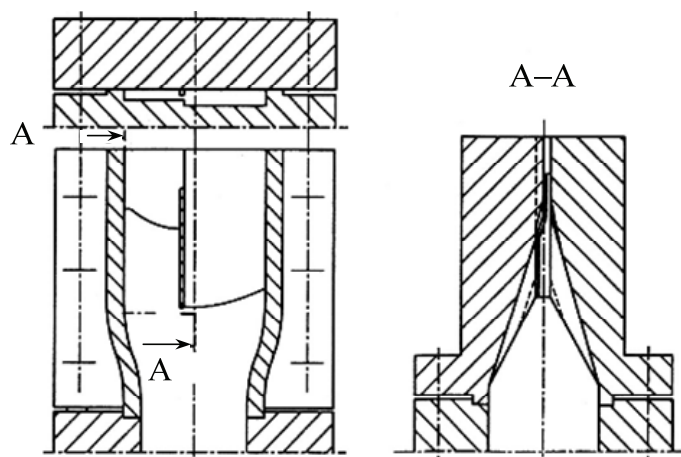


Рис. 4.151. Конструкция разделительных перегородок

Разделительная перегородка должна заканчиваться на небольшом расстоянии, которая составляет примерно 3 мм от выхода из головки; предполагается, что этого расстояния достаточно, чтобы оба потока расплава слились и сварились полностью.

На рис. 4.151 показаны необходимые зоны ограничения течения в широкой и узкой частях канала экструзионной головки. Зона сопротивления течению короче у боковых стенок канала. Поэтому при расчете распределения потока расплава по ширине щели следует учитывать дополнительное влияние сил трения.

Температура рассекателей в профильных головках обычно не регулируется. Помимо системы нагрева корпуса предусматривается дополнительная регулируемая зона нагрева для формирующего участка.

4.5.8. Головки для соэкструзии термопластов

Соекструзия представляет собой одновременную экструзию двух или более полимеров через одну общую формующую головку, в которой полимеры соединяются вместе таким образом, что образуют прочно связанные слои, составляющие единое экструдированное изделие. Соекструзию применяют при экструзии пленок, листов, труб, раздувных пленок, кабельных покрытий и профилей.

Преимущества соэкструзии состоят в образовании прочных связей между слоями, а также в том, что она дает возможность вторично использовать отходы полимерного материала и помещать их во

внутренний слой экструдированного изделия таким образом, чтобы это не влияло на внешний вид изделия. Очевидный недостаток соэкструзии состоит в том, что конструирование и производство инструментов для этого процесса очень сложны и поэтому более дорогостоящи. Кроме того, для соэкструзии необходимо, по крайней мере, два экструдера, а это требует более высокого мастерства управления соэкструзионной линией.

Соэкструзия широко используется для получения упаковочных материалов с сочетанием ценных свойств, таких как хорошая газо- и влагонепроницаемость, износостойкость и низкая стоимость. Так, композиция ПЭ/ПА/ПЭ широко распространена при получении стерильных упаковочных материалов. Композиция ПЭНП/ПЭВП используется в усадочных пленках и пластиковых мешках и сочетает высокую прочность с низкой стоимостью. Соэкструзия композиции ПС / вспененный ПС используется при производстве картонных коробок для упаковки яиц и лотков для мясных продуктов. При щелевой экструзии композиция АБС-пластик / ПС используется для получения прокладок для дверей холодильников и упаковочных коробок. АБС-пластик в данной композиции обеспечивает химическую стойкость, а ПС – низкую стоимость. Область применения продуктов соэкструзии не ограничена, и количество изделий, получаемых соэкструзией, продолжает расти.

Существует три основных метода соэкструзии. В первом методе применяют головки с питателем, в которых потоки расплава объединяются в относительно малом поперечном сечении перед входом в головку (рис. 4.152). Преимуществами такого метода являются простота конструкции и низкая стоимость; недостатком – реологические свойства различных совместно экструдированных полимеров должны быть схожими, чтобы избежать искажения поверхности. Контроль толщины отдельных компонентов в различных слоях не производится; контролируется лишь общая толщина изделия.

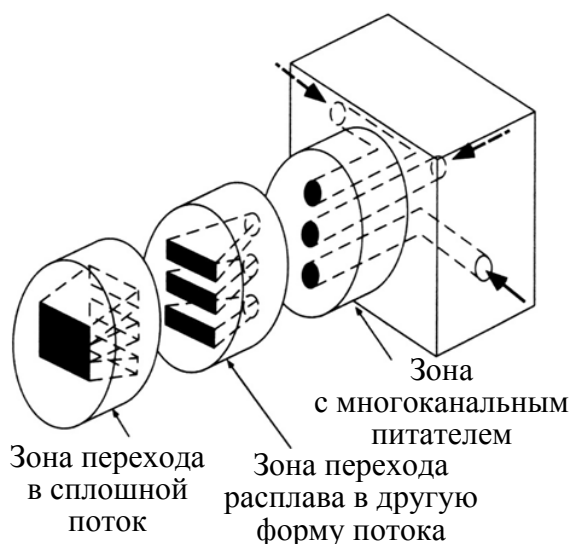


Рис. 4.152. Соэкструзионная головка с питателем

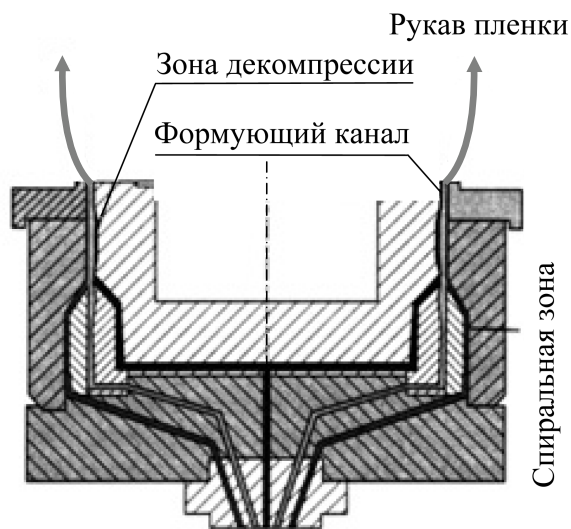


Рис. 4.153. Многоканальные соединительные головки

Во втором методе соэкструзии используют многоканальные соединительные головки. Различные потоки расплава входят в формующую головку по отдельности и соединяются непосредственно внутри выходной части фильеры (рис. 4.153). Преимуществом этой системы является то, что полимеры, сильно различающиеся по реологическим свойствам, могут быть соединены с наименьшими искажениями поверхности. Контроль тол-

щины в различных слоях возможен, что позволяет обеспечить более высокую степень однородности слоев. К недостаткам этой схемы относят сложность конструирования головки, высокую стоимость и ограниченное число соединяемых слоев.

Существуют головки для соэкструзии 5-слойных пленок, которые уже используются как изделия широкого потребления. Даже головки для получения 7-слойных изделий не являются в настоящее время необычными. Некоторые соэкструзионные головки формуют даже от 8 до 10 слоев. Большинство этих головок используются для получения высокопрочной упаковки для пищевых продуктов. Стандартные соэкструзионные головки для получения пленок раздувом имеют концентрическое расположение спиральных каналов дорна. В некоторых случаях используются конические участки спирального дорна, в то время как в других случаях такой участок расположен в плоскости горизонтальной поверхности. Последнее расположение называют соэкструзионной головкой в виде «блинчатого пирога» (рис. 4.154).

Преимущество системы в форме «блинчатого пирога» в том,

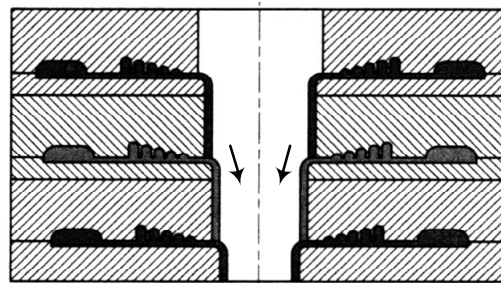


Рис. 4.154. Соэкструзионная головка «блинчатый пирог»

что многие модули (диски) могут быть состыкованы таким образом, что становится возможным производить созэкструзию примерно десяти слоев. Другое преимущество – относительно компактная конструкция, которая сводит пространственные требования к минимуму.

На рис. 4.155 показана многоканальная щелевая головка для двухслойной созэкструзии.

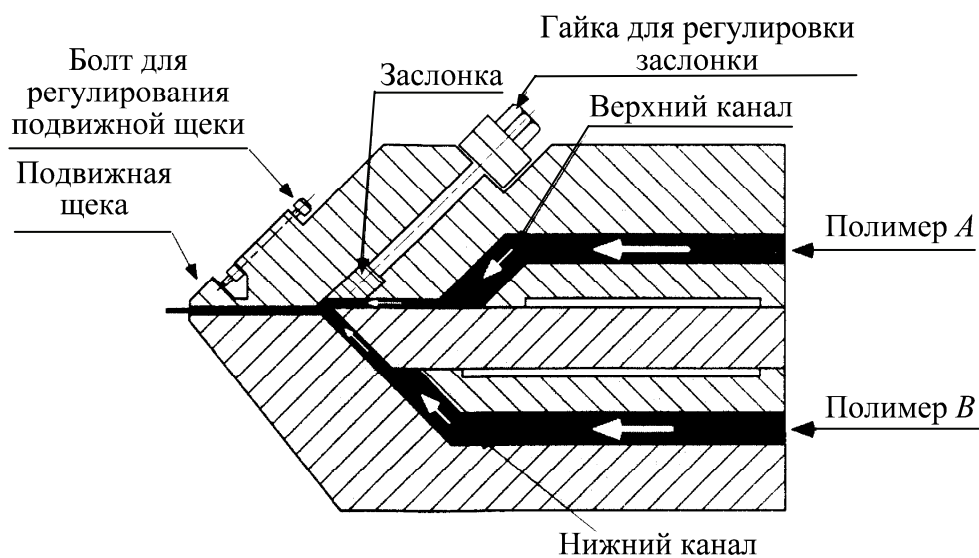


Рис. 4.155. Многоканальная щелевая головка для двухслойной созэкструзии

Толщина верхнего слоя созэкструдата может быть отрегулирована с помощью заслонки, а толщина конечного комбинированного слоя может варьироваться с помощью подвижной щеки.

Созэкструзия трех и более слоев в щелевой головке – довольно трудная задача, поскольку геометрия изделия становится достаточно сложной. Рис. 4.156 показывает другую конструкцию трехслойной созэкструзионной щелевой головки.

В приведенной конструкции толщина слоя может быть отрегулирована лопастями. Внутренняя регулировка позволяет достичь более высокой степени однородности общей толщины изделия; однако изменение

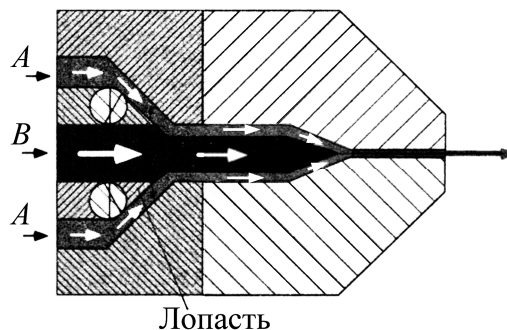


Рис. 4.156. Трехслойная созэкструзионная щелевая головка

локальной толщины слоя невозможна, как это делается с помощью заслонки.

В третьем способе соэкструзии используют многоканальные внешние соединительные головки, в которых имеются отдельные каналы для разных потоков расплава, а также отдельные отверстия, через которые потоки расплава выходят из головки по отдельности, соединяясь непосредственно на выходе из головки. Этот способ называется также многощелевой соэкструзией. Для щелевых головок используются выдавливающие валки, которые позволяют соединить слои вместе. В экструзии при раздуве пленок давление воздуха внутри расширяющегося рукава пленки обеспечивает необходимое давление для соединения слоев. Этот способ более дорогой, чем использование питателя, однако контроль размеров каждого отдельного слоя более точен, образование дырок и пор исключено, и система легче запускается в работу.

В табл. 4.27 приведено сравнение конструкций на основе питателя и многоканальной системы.

Таблица 4.27

Сравнение конструкций на основе питателя и многоканальной системы

Питатель	Многоканальная головка
Низкая стоимость	Высокая стоимость
Многослойность изделия	Число слоев ограничено
Простота конструкции	Сложность конструкции
Близкие значения вязкостей	Возможность использования полимеров с разными вязкостями
Ограничение числа соединяемых полимеров	Комбинирование различных полимеров
Невысокая однородность слоев	Хорошая однородность слоев
Наличие нескольких слоев в одной фильере	Ограничение числа слоев конструкцией фильеры
Применимость для производства пленок и листовых материалов	Применимость для изготовления изделий разных профилей

Достоинство соэкструзии заключается также в однородном распределении температуры в экструдироме материале, что может быть реализовано с помощью соэкструзии тонкого низковязкого внешнего слоя поверх высоковязкого внутреннего слоя. Наибольшая скорость сдвига и выделение тепла происходят в направлении,

перпендикулярном стенке. Наличие низковязкого материала в зоне максимума скорости сдвига приводит к уменьшению тепловыделения и появлению профиля температуры. Данный метод обычно используется для переработки полимеров с низкой термостабильностью. Он позволяет устранить такие нестабильности и дефекты экструдата, как ребристость поверхности («акуля шкура») и прерывистость экструзионного потока.

Можно объединить питатель с многоканальной головкой, чтобы получить легко перенастраиваемую соэкструзионную систему, которая позволяет соединять много слоев и много полимеров с существенными различиями в реологических характеристиках.

4.5.9. Механические расчеты экструзионных головок

При механическом расчете головок нужно определить силы и деформации, действующие на детали головок в процессе ее работы. Расчет необходим по двум причинам:

- 1) гарантировать, что головка не получит повреждений в процессе работы;
- 2) убедиться, что коллектор сохранит геометрическую конфигурацию, определенную реологическим расчетом.

Важными аспектами механического расчета экструзионной головки являются:

- резьбовые соединения в зависимости от давления расплава внутри головки;
- расчет допустимых деформаций стенок каналов в зависимости от давления внутри головки.

Механические расчеты всегда тесно связаны с реологическими расчетами. При реологических расчетах прежде всего определяется геометрия канала экструзионной головки. Затем производится оценка распределения давления для заданного диапазона рабочих режимов для материала с максимально возможной вязкостью, при минимальной температуре расплава и максимальной производительности. На основании этого определяются уровни равных давлений и напряжений сдвига на стенках каналов.

Зная площади поверхностей стенок канала и величины действующих на них напряжений, можно вычислить силы воздействия

на детали головки. При механических расчетах средних и крупных головок необходимо учитывать также и собственный вес головки.

Приемлемого достоверного метода механического расчета экструзионных головок не существует. Однако некоторые детали – решетку, пакет сеток, скрепляющие болты, спицы дорнодержателя, можно считать общепринятым методом сопромата.

Общие принципы конструирования. При конструировании и расчете экструзионных головок необходимо соблюдать следующие принципы.

- Конструкция головки должна состоять из минимального количества деталей. В связи с этим необходимо принимать меры для обеспечения точной центровки деталей головки друг относительно друга.

- Малое число деталей головки уменьшает количество стыков между деталями, составляющими рабочий канал. Опасность большого количества стыков в том, что через них могут возникать утечки расплава и возможно разложение в них нетермостабильного материала.

- Поскольку полностью избежать поверхностей стыка невозможно, следует обеспечить им максимально возможную плоскостность и минимальную площадь контакта. Это позволит создать равномерное распределение нагрузки по всей поверхности контакта сопрягаемых деталей.

- Зазор между неподвижной и подвижной частями головки (например, между регулирующей планкой и корпусом широкощелевой головки) можно герметизировать с помощью установки герметизирующего шнура или уплотнительной прокладки в прямоугольную или полукруглую канавку на неподвижной части головки. Подходящими материалами для изготовления уплотняющего элемента являются мягкие металлы (например, алюминий) или теплостойкие (например, ПТФЭ).

- Детали головки должны скрепляться небольшим количеством болтов (а не большим количеством болтов малого размера). Срок службы болтов большого диаметра существенно выше, чем для болтов малого диаметра. Конструкция головки должна предусматривать удобный доступ к болтам, например, сверху, как в плоскощелевых экструзионных головках, без необходимости демонтажа ленточных нагревателей.

- Крепление экструзионных головок к экструдеру лучше осуществлять с помощью откидного фланца с быстрой герметизацией места стыка. Большие экструзионные головки должны монтироваться на регулируемых передвижных тележках.

- Для обеспечения лучшего распределения нагрузки выходное отверстие головки целесообразно регулировать с помощью нескольких настроечных болтов (например, при центровке головок для производства рукавной пленки).

- Размеры корпуса головки должны быть таковы, чтобы деформации, вызываемые действием давления, не выходили за допустимые пределы. Поскольку отверстия ослабляют корпус головки, при расчетах на прочность необходимо принимать во внимание отверстия для болтов, нагревателей патронного типа, датчиков температуры.

- Если температуры различных частей экструзионной головки значительно отличаются, то следует принимать во внимание и термическое расширение деталей.

При выборе конфигурации каналов головки следует обратить особое внимание на нижеследующие рекомендации.

- Подача расплава в экструзионную головку, по возможности, должна производиться в направлении экструзии.

- В каналах головки не должно быть застойных зон или резких переходов, это означает, что при конструировании следует избегать резких изменений поперечного сечения или направления течения расплава. Кроме того, все радиусы скругления в каналах должны быть не менее 3 мм.

- Зоны головки с большой площадью поперечного сечения характеризуются значительным временем пребывания расплава, так как скорость течения в таких зонах невелика. Это может приводить к термическому разрушению термочувствительных материалов (например, жесткого ПВХ). При конструировании головок для переработки таких материалов необходимо соблюдать принцип минимизации объема каналов. Для плоскощелевых головок необходимость минимизации объема распределительного канала (коллектора и формующего участка), на который действует давление, приводит к сокращению длины экструзионных головок, таким образом, этот принцип соблюдается.

- Видимые линии тока всегда приводят к ухудшению качества экструдированных изделий. Следовательно, необходимо избегать их

образования или, по возможности, ограничить. Количество видимых линий тока можно уменьшить путем правильного конструирования каналов экструзионной головки.

- В зависимости от типа экструдруемого изделия и свойств перерабатываемого материала необходимо предусматривать в головке формующий участок с постоянными размерами, на длине которого происходит затухание обратимых деформаций расплава до равновесного уровня, соответствующего заданному режиму течения. Кроме того, на этом участке необходимо обеспечить независимое регулирование температуры.

- Поверхность канала экструзионной головки должна быть отполирована. При необходимости эту поверхность следует хромировать. Шероховатость поверхности должна быть не более 0,2 мкм. Хромирование снижает тенденцию к налипанию расплава на стенки канала и, таким образом, приводит к снижению времени пребывания расплава в канале, а также упрощает очистку экструзионной головки. Однако хромовое покрытие со временем изнашивается, и по истечении определенного периода эксплуатации требует обновления. Некоторые материалы, вызывающие сильное трение при охлаждении (например, полиэфир и полиамид), могут даже полностью разрушать это покрытие. Поэтому при изготовлении экструзионных головок все более широкое применение находят коррозионностойкие стали. Каналы таких экструзионных головок нуждаются лишь в увеличении поверхностной твердости и полировке (хонингование или притирка).

4.5.10. Калибрующие устройства

Калибрующие устройства, которые устанавливаются на выходе из формующего канала экструзионной головки, выполняют следующие основные функции:

- трансформирование исходной конфигурации экструдруемой заготовки до требуемой окончательной конфигурации изделия с последующей фиксацией последней;
- фиксирование приобретенной конфигурации изделия путем частичного охлаждения;
- обеспечение необходимой точности размеров наружной, внутренней или одновременно двух поверхностей изделия.

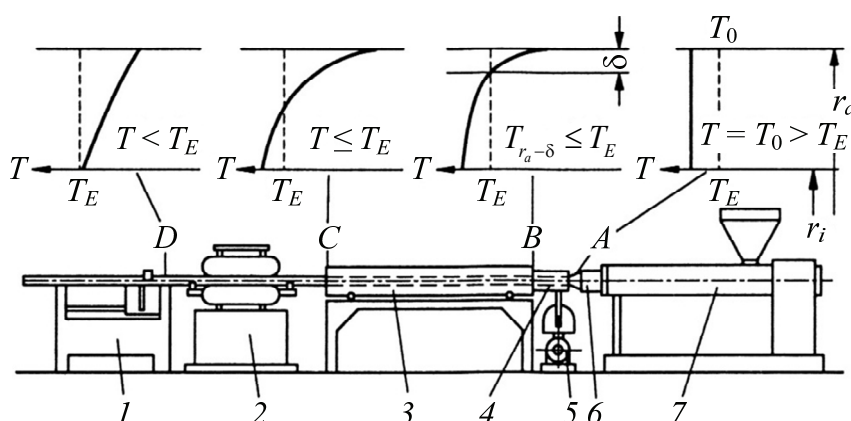


Рис. 4.157. Температурные профили
в экструзионной линии

Рассмотрим температурные профили в линии по производству труб экструзией (рис. 4.157).

При движении расплава от экструдера 7 через головку 6 заготовка поступает в калибратор 4. Вакуум создается насосом 5. При прохождении через калибратор температура экструдата T снижается в пристенном слое δ до температуры твердого состояния T_E . Затем экструдат попадает в охлаждающую ванну 3 и происходит дальнейшее охлаждение заготовки, т. е. $T \leq T_E$. В тянущем устройстве 2 и режущем 1 весь объем полимера в изделии перешел в твердое агрегатное состояние. Калибрующее устройство является одним из видов технологической оснастки, так как оно фиксирует форму и размеры изделия.

Важное значение имеет величина нормальной силы, возникающей при калибровании к поверхностям экструдата и калибратора. Эта нормальная сила создает силы трения, действующие при протягивании экструдата через калибратор и распределенные по всей длине калибратора. Для непрерывного отвода профиля действующие на экструдат силы трения должны быть преодолены тянущим устройством. Максимально допустимая сила определяется несущей способностью профиля, которая, в свою очередь, зависит от его поперечного сечения и от распределения температур в экструдате.

В частности, на участке входа в калибратор, где температура экструдата еще относительно высока и толщина несущего слоя мала (к данному моменту затвердела лишь небольшая часть толщины стенки профиля), тяговое усилие (пока еще относительно низкое)

вызывает непрерывно возрастающее продольное растяжение экструдата (на рис. 4.158 это обозначается знаком «+»). Эти деформации не могут полностью релаксировать вследствие последующего охлаждения, и поэтому остаются «замороженными».

Из-за продольной деформации и термической усадки поперечные размеры экструдата уменьшаются (на рис. 4.158 это обозначается знаком «-»), что приводит к уменьшению нормальных сил, действующих на стенки калибратора и, следовательно, к снижению трения и ухудшению термического контакта.

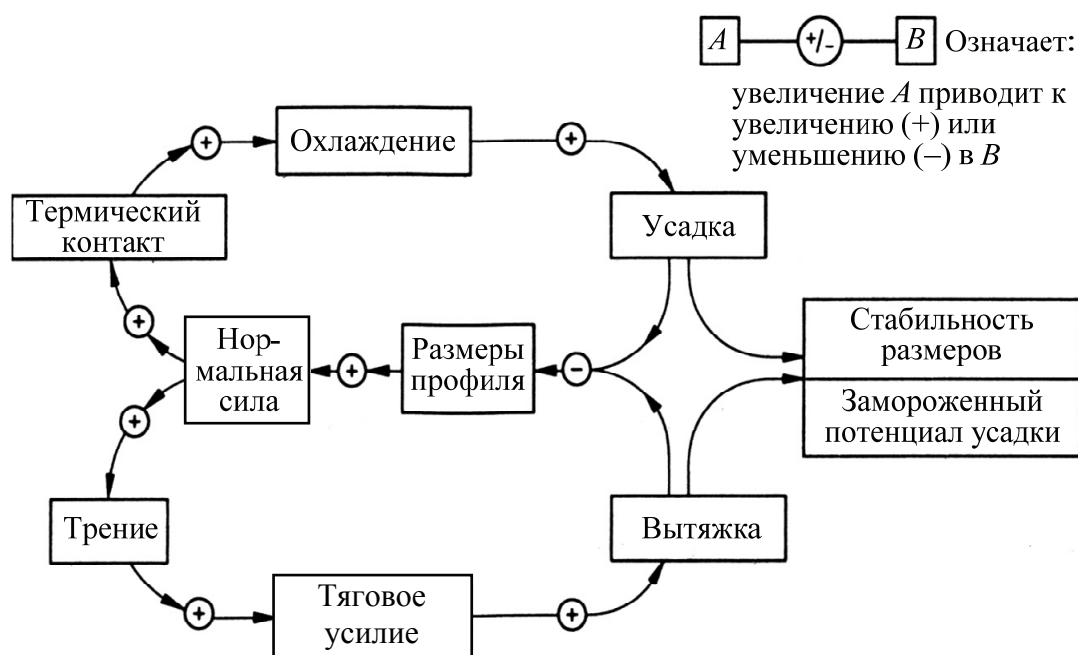


Рис. 4.158. Взаимосвязь факторов при калибровании профиля

Уменьшение размеров в поперечном направлении толщины стенок, периметра профиля обычно компенсируют за счет припуска на усадку в зоне охлаждения калибратора, что позволяет получать конечный продукт с заданными размерами.

Длинные калибраторы могут иметь небольшую конусность (или состоять из нескольких последовательно соединенных блоков со ступенчато изменяющимися размерами для каждого блока, соответствующими изменению размеров экструдата при постепенном охлаждении). Это также позволяет получать на выходе продукт требуемых размеров. Поскольку силы, необходимые для отвода профиля, возрастают с увеличением длины участка калибрования (вследствие возрастания трения на поверхностях), максимальная его длина

определяется несущей способностью экструдата или его максимально допустимой продольной деформацией.

Даже при чрезвычайно интенсивном охлаждении экструдат должен оставаться в калибраторе до тех пор, пока его несущая способность не возрастет настолько, что он может противостоять внешним нагрузкам (силе тяжести, тяговому усилию, создаваемому тянущим устройством) и внутренним напряжениям без недопустимого изменения размеров. Наконец, минимальное время калибрования, устанавливаемое на основе сказанного выше, наряду с максимально допустимой длиной калибратора, определяет линейную скорость отвода профиля и соответственно производительность экструзионной линии.

Основные методы калибрования. Существует несколько признаков, по которым можно классифицировать как методы, так и сами калибрующие устройства.

Первый признак – по типу поверхности изделия, которая калибруется:

- внутренняя (только полые изделия);
- наружная (полые и монолитные изделия).

Чаще всего калибрование производится по внешним поверхностям профиля, но возможны случаи, когда контакту с охлаждаемой поверхностью подвергаются некоторые внутренние полости изделия. Калибрование по внутреннему контуру используется для изделий простой формы, например трубообразных, если требуется обеспечить гладкую внутреннюю поверхность и точные сопрягаемые размеры. Этот метод требует калибратора специальной конструкции, который можно применять только для достаточно больших изделий.

Второй признак – по способу прижима изделия к формующей поверхности:

- давлением воздуха, подаваемого в полости пустотелой заготовки;
- с помощью вакуума, создаваемого между стенками заготовки и калибрующей поверхностью устройства;
- путем поперечного обжатия при протяжке экструдата через рабочий канал калибратора (по типу волочения для металлов);
- силой тяжести калибрующих элементов и поджимом их.

Контакт экструдата с калибрующими поверхностями может осуществляться также одновременно или последовательно в одном,

двух или более блоках одинаковой или различной конструкции. Например, возможно предварительное калибрование и охлаждение толстостенных труб сначала в короткой втулке с помощью избыточного давления воздуха, а затем вакуумное калибрование ее неостывшей трубы в длинномерном калибраторе или в вакуумной втулке, установленной на входе в вакуумную ванну.

Некоторые виды светильников из ПММА получают путем протяжки через серию коротких охлаждаемых блоков, в которых экструдат попеременно охлаждается по наружному и внутреннему контуру. Количество блоков зависит от толщины стенки светильника и производительности линии.

Третий признак – по способу охлаждения изделия при калибровании калибрующие устройства можно разделить на два основных вида – «сухое» и «мокрое» (влажное):

- при «сухом» калибровании охлаждение экструдата осуществляется в результате плотного контакта с металлической поверхностью калибратора, в корпусе которого циркулирует холодная вода; отвод тепла от профиля осуществляется путем теплопроводности через стенку, вода на профиль непосредственно в калибраторе не попадает;

- при «мокрое» калибровании профиль протягивается через серию коротких блоков или металлических пластин, установленных в водяной ванне; охлаждение профиля осуществляется в основном за счет конвективного теплообмена; для интенсификации теплообмена применяют разбрызгивающие форсунки или турбулентный характер циркуляции воды в наливной ванне.

На практике чаще применяют комбинированные методы охлаждения, сочетающие элементы обоих способов. Выбор способа калибрования и охлаждения зависит от формы и размеров профиля, теплофизических свойств материалов калибратора и профильного изделия, производительности оборудования.

Термин «калибрование» подразумевает одновременное деформирование и охлаждение экструдата, так как при формовании изделий из расплава невозможно их разделить. В некоторых случаях используется выражение «деформирование и калибрование» для того, чтобы подчеркнуть, что еще до контакта экструдата с охлаждаемой поверхностью калибратора заготовка подвергается формоизменению по отношению к форме и размерам формующего отверстия экструзионной головки.

Деформирование и охлаждение необходимо и при получении профилей из резиноподобных материалов (например, из мягкого ПВХ, термоэластопластов, термопластичного полиуретана и др.), которые имеют высокий коэффициент трения расплава о металл и которые не калибруют обычными методами. В этом случае обеспечение нужной формы и размеров осуществляется путем продольной вытяжки экструдата, поджимом различных охлаждаемых вставок, прокаткой через фигурные ролики. Форма экструдата некалибруемых профилей в большинстве случаев близка к форме конечного изделия.

Четвертый признак – по конструкции калибрующие устройства это:

- длинномерные калибраторы;
- калибрующие пластины и втулки;
- калибрующие ролики (валки);
- комбинированные, состоящие из элементов первых трех групп.

Некоторые виды профильных изделий можно формовать путем деформирования и калибрования заготовки простого поперечного сечения (трубы, полосы) в калибраторе любого из указанных типов. Выбор типа калибратора определяется требованиями к изделию, реологическими и теплофизическими свойствами материала, производительностью процесса. Так, например, трубообразные профили с постоянной толщиной стенки и со скругленными углами (квадратные, прямоугольные, многоугольные и т. п.) обычно калибруют именно таким способом.

В некоторых случаях возможно формование профильных изделий из листовых рулонных заготовок путем их нагрева и пластического деформирования в калибрующем (формующем) устройстве. Этот способ не относится к непрерывному производству изделий из расплава, не имеет промышленного значения и может применяться лишь ограниченно для изготовления некоторых видов изделий простой формы с постоянной толщиной стенки. В этом случае калибрующее устройство является одновременно и формующим инструментом.

Калибрование многих профильных изделий вызывает значительные трудности, так как приходится согласовывать форму и размеры калибратора и формующего инструмента, подбирать расстояние между ними, обеспечивать необходимые силы прижатия заготовки к охлаждаемым поверхностям калибратора, создавать условия для относительно равномерного деформирования и охлаждения различных участков профиля.

Рассмотрим конструкции калибрующих устройств, наиболее часто применяемых на производстве.

Наружное калибрование обычно означает фиксацию наружного контура экструдированного профиля в калибраторе. Такое калибрование является общепринятым благодаря ряду его преимуществ. В особенности это относится к изделиям массового производства, таким как пластмассовые трубы, стандартизация которых осуществляется по наружному диаметру.

Наружное калибрование с помощью сжатого воздуха, называемое также калиброванием сжатым воздухом, используется только при производстве труб из ПВХ диаметром не менее 355 мм и полиолефиновых труб диаметром более 90–110 мм. При таком калибровании (рис. 4.159) контакт между калибрующей втулкой и полым трубообразным экструдатом обеспечивается за счет избыточного давления воздуха (примерно 0,2–1 бар). Для этого сжатый воздух подается в трубчатую заготовку через дорн экструзионной головки. При изготовлении труб небольшого диаметра и шлангов, которые можно сворачивать в бухты, их концы герметизируются (пробками или сминанием). Трубы большего диаметра уплотняются изнутри плавающими пробками, которые состоят из набора круглых резиновых прокладок, поддерживаемых изнутри направляющими роликами и прижатыми к внутренним стенкам трубы пружинами. Плавающая пробка крепится к дорну тросом или цепью так, чтобы они не касались внутренних стенок трубы. При определении размеров троса, удерживающего плавающую пробку, необходимо принимать во внимание максимальное тяговое усилие.

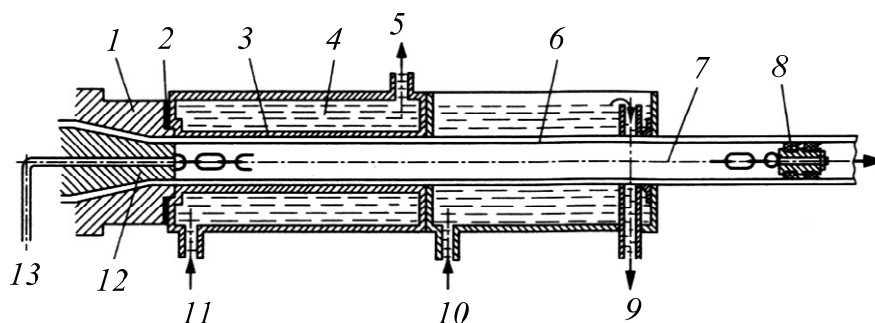


Рис. 4.159. Наружное калибрование с помощью сжатого воздуха:

- 1 – мундштук экструзионной головки; 2 – теплоизоляция; 3 – калибрующая втулка; 4 – охлаждающая вода; 5 – выход воды; 6 – пластмассовая труба; 7 – цепь; 8 – плавающая пробка; 9 – выпуск воды; 10, 11 – впуск воды; 12 – дорн; 13 – подача сжатого воздуха

При использовании этого процесса калибрования калибратор для предотвращения раздува или разрыва трубы под действием внутреннего давления присоединяется непосредственно к трубной экструзионной головке фланцем и хорошо центрируется с ней. При этом необходимо предпринять меры для эффективной теплоизоляции горячей экструзионной головки от холодного калибратора. Этого можно добиться путем создания воздушного зазора и обеспечения минимальной поверхности контакта между головкой и втулкой калибратора.

Для компенсации утечек воздуха, возникающих, например, вследствие износа плавающей пробки, рекомендуется контролировать давление раздува и при необходимости регулировать его расход, например, вручную с помощью редуктора или автоматической системой регулирования давления.

Охлаждение калибрующей втулки производится циркулирующей водой, а самой трубы – погружением в водяную ванну, капельным орошением или факельным разбрызгиванием воды. Последний метод чаще применяется при экструзии труб большого диаметра.

При наружном калибровании с помощью вакуума необходимый для охлаждения и калибровки контакт между экструдиремым профилем и поверхностью калибратора осуществляется за счет использования вакуума, создаваемого вакуум-насосом. При таком калибровании профиль прижимается к охлаждаемой поверхности калибратора по контуру (закрытое наружное калибрование по контуру), при этом вакуум создается путем откачки воздуха через небольшие отверстия или щели в стенках калибратора, к которым примыкает профиль (рис. 4.160).

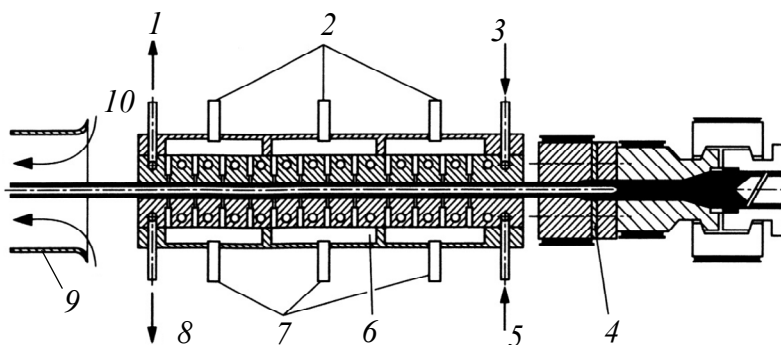


Рис. 4.160. Наружное калибрование с помощью вакуума:
1, 8 – выход воды; 2 – вакуум; 3, 5 – вход воды; 4 – профильная головка; 6 – длинномерный вакуумный калибратор; 7 – вакуум; 9 – желоб для воздушного охлаждения; 10 – охлаждающий воздух

На рис. 4.161 показан еще один способ калибрования, при использовании его профиль протягивается через серию пластин, в пространстве между которыми создан вакуум (калибрование пластинами). Основное преимущество этого способа состоит в отсутствии необходимости герметизации внутренней полости плавающей пробкой. Необходимо только поддерживать внутри профиля атмосферное давление. С этой целью в дорне или сердечниках экструзионной головки предусмотрены отверстия для сообщения с атмосферой и выравнивания давления воздуха.

Наружное калибрование по контуру (рис. 4.162) применяется при производстве полых профилей и труб небольшого диаметра. Для калибрования профилей обычно используют несколько блоков калибраторов, между которыми располагаются участки охлаждения. Например, для калибрования оконных профилей используются три калибрующих блока длиной 400–450 мм каждый. Размеры соответствующих блоков калибрования принимаются в соответствии с термической усадкой охлаждаемого профиля.

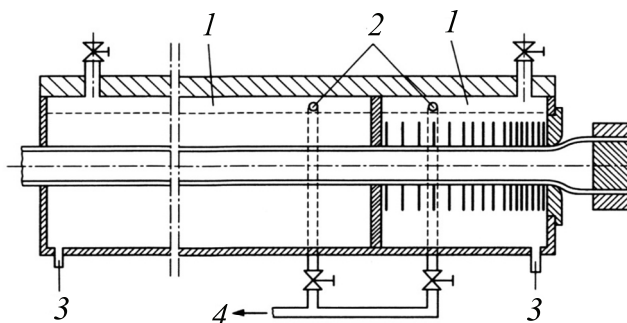


Рис. 4.161. Наружное калибрование с помощью серии пластин:

1 – вакуум; 2 – выход воды; 3 – вход воды;
4 – к вакуум-наосу

При такой конструкции калибрующего устройства достигается оптимальный для охлаждения контакт между профилем и калибраторами. Экструдат протягивается через первую калибрующую секцию. За счет пластической деформации охлаждаемого расплава, которая может составлять 5–30%, экструдат прижимается к стенкам блока калибратора и формируется требуемый контур профиля, соответствующий поперечному сечению калибратора. Различные выступающие вставки, предназначенные, например, для формирования впадин, поднутрений в профиле, в следующих блоках калибратора отсутствуют, что снижает риск застревания на них профиля (рис. 4.162).

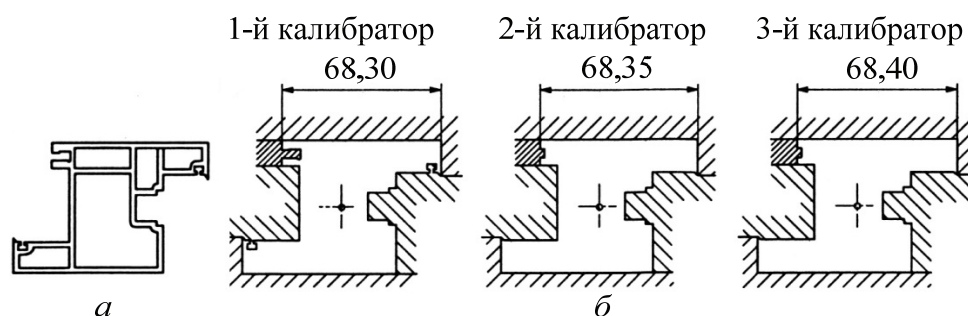


Рис. 4.162. Наружное калибрование по контуру:
a – поперечное сечение формующего отверстия головки
 для экструзии оконного профиля; *б* – поперечные сечения
 каналов трех последовательных блоков калибраторов

При калибровании сложных профилей не всегда можно создать равномерное прижатие по всей длине участка вакуумного калибрования. Поэтому процесс калибрования во многом похож на калибрование протяжкой с той или иной степенью вакуумной калибровки. Чтобы облегчить прохождение наружных выступов профилей, пазы калибраторов, в которых выступы охлаждаются и частично калибруются, в некоторых местах умышленно увеличивают на 10–30%. Из-за возникающих при калибровании высоких сил трения профиль может разорваться. Поэтому для безопасной работы вакуумную линию снабжают вентилем для частичного сброса вакуума.

На рис. 4.163 показана сложная сеть каналов охлаждения и вакуумирования в секции калибратора, используемого при изготовлении оконных профилей (рис. 4.162).

Как следует из названия процесса, при внутреннем калибровании фиксируются внутренние размеры экструдированных полых профилей простого поперечного сечения. Этот процесс редко применяется

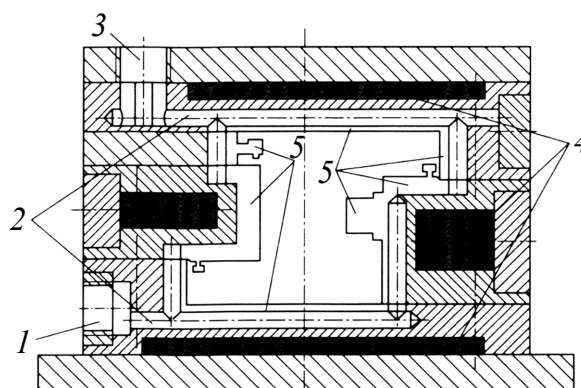


Рис. 4.163. Секция калибратора
 при калибровании по контуру:
1 – место присоединения к вакуум-насосу
 (основание калибратора);
2 – вакуумные каналы; *3* – место
 присоединения к вакуум-насосу (крышка
 калибратора); *4* – каналы охлаждения;
5 – вакуумные щели

при экструзии труб, поскольку в качестве основы для классификации и стандартизации труб используют наружный диаметр. Профилированием калибрующего дорна можно преобразовать простую круглую трубу, получаемую с помощью обычной экструзионной головки для производства труб, в трубообразный профиль (например, в дорожный столбик). Этот процесс существенно дешевле, чем использование профильных экструзионных головок с соответствующим поперечным сечением формующего канала.

При этом способе калибрования дорн экструзионной головки соединяется с охлаждаемым калибрующим дорном, конструкция которого изображена на рис. 4.131.

Если калибраторы непрерывно перемещаются вместе с экструдатом, то это позволяет производить профили переменного (в направлении экструзии) сечения. Этот метод применяется, например, при изготовлении гофрированных труб (рис. 4.164). Для этого применяются приемные гусеничные устройства (гофраторы) со специальными металлическими полуформами (формующие цепи), в которых гладкая пластическая трубчатая заготовка под действием сжатого воздуха или вакуума переформовывается в гофрированную трубу.

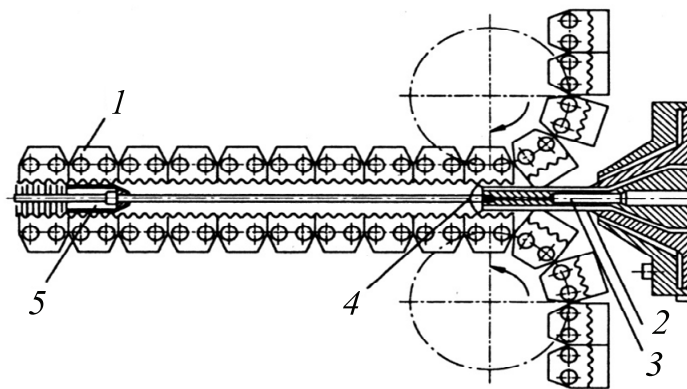


Рис. 4.164. Конструкция гофратора:

1 – цепь с гофрированной полуформой; 2 – дорн; 3 – мундштук;
4 – выход воздуха для раздува заготовки; 5 – плавающая пробка

Во избежание преждевременного охлаждения или увеличения диаметра заготовки (при использовании для калибрования избыточного давления) расплав сначала направляется в длинный обогреваемый мундштук, конец которого входит в гофратор и близко располагается относительно первой формы. Поскольку по конструктивным соображениям наружный диаметр мундштука должен быть несколько меньше диаметра

формы в сомкнутом состоянии, мундштук невозможно обогреть по всей длине. Поэтому его следует изготавливать из материалов с высокой теплопроводностью (например, из медно-бериллиевых сплавов).

Для уменьшения трения между изделием и калибрующей поверхностью применяют в качестве калибрующего устройства ролики или валки, размещенные последовательно на воздухе или погруженные в воду (рис. 4.165).

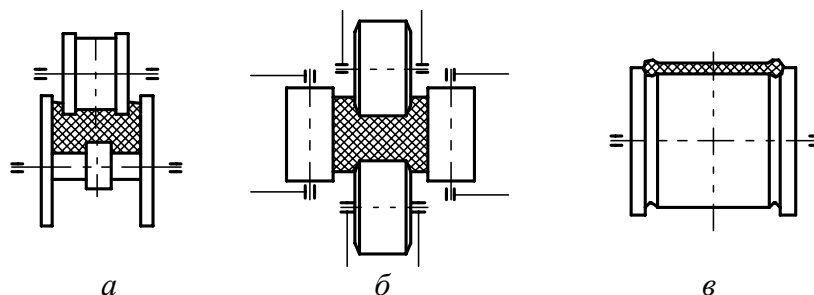


Рис. 4.165. Калибрующие ролики

Наиболее благоприятные условия для калибрования образуются на длинномерных калибрах, когда изделие имеет непрерывный контакт с калибрующими поверхностями (рис. 4.166).

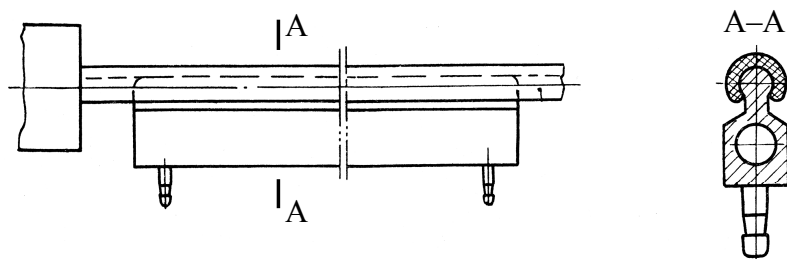


Рис. 4.166. Длинномерные калибры

Водяное охлаждение применяется для относительно толсто-стенных профилей (более 2 мм) или при высоких скоростях экструзии относительно простых изделий. Полые профили охлаждают в погружных ваннах с циркулирующей холодной водой, в результате чего обеспечивается высокая интенсивность теплоотдачи от профиля к охлаждающей среде.

Тонкостенные изделия с толщиной стенок до 1–1,5 мм при высокой скорости экструзии допускается охлаждать с помощью подачи сжатого воздуха. Конструктивно это решается установкой после калибратора закрытого воздушного тоннеля, в который воздуходувкой

нагнетается воздух. Интенсивность теплообмена при таком способе невысока, но может быть достаточной для быстрого и относительно «мягкого» охлаждения быстротвердеющих расплавов.

Влияние охлаждения на качество экструдата. Процесс охлаждения оказывает влияние на качество экструдата, основные критерии оценки которого приводятся ниже:

- состояние поверхности (блеск, наличие продольных линий);
- стабильность геометрических размеров;
- устойчивость к механическим нагрузкам и влиянию среды;
- текстура затвердевшего экструдата.

Гладкость и блеск поверхности определенно достигаются на первой стадии охлаждения. Полированный сухой вход в калибратор способствует получению поверхностного глянца, а непосредственное охлаждение жидкостями приводит к образованию матовых поверхностей. Продольные линии на поверхности экструдата возникают вследствие износа калибратора или при попадании твердых частиц в охлаждающую жидкость при влажной калибровке (именно поэтому сухая калибровка часто бывает предпочтительной).

Под размерной стабильностью понимается не только достижение требуемых размеров в пределах заданных допусков, но и стабильность размеров при тепловом воздействии (т. е. продольная усадка), на которую влияют замороженные остаточные напряжения в экструдате (возникающие вследствие неравномерного трения разных поверхностей профиля в калибраторе, неравномерного охлаждения различных участков поперечного сечения профиля). Уровень внутренних напряжений можно уменьшить за счет двухстороннего охлаждения (которое, однако, не всегда возможно).

Остаточные напряжения в экструдате влияют также на устойчивость к механическим нагрузкам и на сопротивление к воздействию агрессивных сред. В общем случае, когда при охлаждении экструдата на его поверхность действуют сжимающие напряжения, высокие степени растяжения охлажденных ниже температуры затвердевания слоев (например, вследствие больших сил трения и, как следствие, больших тяговых усилий от тянущего устройства) могут привести к возникновению остаточных растягивающих напряжений на поверхности. В этом случае профиль будет очень чувствителен к любому малейшему повреждению поверхности или к воздействию агрессивной среды (растрескивание под воздействием внешней среды).

Текстура, в частности, для толстостенных изделий, зависит от толщины стенок профиля. Это особенно касается полукристаллических термопластов. Вблизи охлаждаемых поверхностей степень кристалличности может быть незначительной, что означает наличие поверхностного слоя без текстуры. Однако внутренние слои, охлаждавшиеся медленнее, обладают ярко выраженной кристаллической структурой и соответствующей текстурой. При увеличении скорости охлаждения толщина пограничного слоя, не имеющего текстуры, значительно возрастает.

Механические особенности работы калибрующих устройств. При конструировании калибрующих устройств необходимо проектировать их неподвижные части жесткими для противодействия достаточно большим силам от тянущего устройства. Для крепления калибраторов в большинстве случаев используют так называемые калибровочные столы, которые имеют монтажную плиту регулируемой высоты. Кроме того, на станине стола устанавливается дополнительное оборудование, такое как вакуумные насосы, емкости для охлаждения профилей. На монтажных плитах можно устанавливать различные типы калибраторов. Тяговые усилия для отвода тяжелых и крупногабаритных профилей (например, основных оконных профилей) могут достигать нескольких тонн, поэтому оборудование должно быть хорошо закреплено на полу производственного помещения. Для упрощения запуска экструзионной линии расстояние между фильерой экструзионной головки и первым блоком калибратора должно легко регулироваться. Закрытые внешние калибраторы для калибрования профиля по внешнему контуру должны состоять из разъемных по высоте секций, что позволяет упростить протягивание через них еще несформированного экструдата, особенно это важно при производстве профилей сложной формы.

Вес отдельных блоков калибратора (по крайней мере, их верхних частей) для облегчения обращения с ними не должен превышать 20 кг.

Материалы для изготовления деталей калибратора выбираются на основе требований производства. В большинстве случаев для этой цели используются латунь и сталь, иногда алюминий.

Латунь и алюминий по теплопроводности и легкости обработки обладают преимуществом перед сталью. Однако более высокая склонность этих материалов к износу требует специальной обработки рабочей поверхности (хромирование для латуни, анодирование

для алюминия), причем локальная поверхностная обработка должна периодически возобновляться при износе покрытия.

Влажные калибраторы изнашиваются интенсивнее, нежели сухие из-за присутствия в охлаждающей жидкости абразивных частиц.

Размеры поперечного сечения. Размеры поперечного сечения канала калибратора принимают большими, чем соответствующие размеры изделия на величину линейной термической усадки перерабатываемого материала. Обычно величина линейной усадки в зависимости от теплофизических свойств полимера находится в пределах от 0,1–0,5 до 3–3,5%.

Линейная усадка неодинакова в продольном и поперечном направлениях, поскольку изделие при экструзии подвергается ориентации, которая влияет на теплофизические свойства материала. Большая усадка наблюдается в направлении ориентации. При экструзии профилей обычно это продольное направление. Несколько меньше усадка в направлении обжатия экструдата, например, по толщине стенки. Точный учет величин усадок в различных направлениях при экструзии бывает необходим в редких случаях при изготовлении профильных изделий повышенной точности. Напротив, эти знания необходимы при литье под давлением, где разработаны специальные методики для расчета линейных усадок.

Обычно при проектировании калибраторов линейную усадку принимают одинаковой в поперечных направлениях, если нет точных данных о значениях этой величины в зависимости от условий процесса.

Охлаждение расплава в калибраторе. Определение времени охлаждения. Время пребывания и интенсивность охлаждения экструдата в калибраторе должны обеспечить постоянство размеров профиля после выхода из калибрующего устройства.

При калибровании профиля на наружной поверхности экструдата образуется твердый («несущий») слой, препятствующий изменению формы профиля после калибратора. К внешним силам, действующим на профиль, относятся тяговое усилие и силы смятия профиля в траках тянущего устройства, а также силы, возникающие при резке профиля, силы тяжести при приемке и складировании профиля.

Толщина твердого несущего слоя определяется интенсивностью и временем охлаждения экструдата.

Несущий слой при калибровании подвергается растяжению. К моменту выхода из калибратора средняя температура несущего

слоя должна быть ниже температуры стеклования (для аморфных полимеров) или температуры кристаллизации (для кристаллизующихся полимеров). В табл. 4.28 приведены значения допускаемого напряжения некоторых термопластов на растяжение.

Таблица 4.28

Допускаемое напряжение некоторых термопластов на растяжение

Материал	Средняя температура несущего слоя на выходе $T_{\text{вых}}$, °C	Допускаемое напряжение $[\sigma_p]$ на растяжение, МПа
НПВХ	75	25
ПЭВП	90	25
ПЭНП	70	10
АБС	80	25

Примечание. Допускаемое значение деформации растяжения принимается равным 1%.

В калибраторе тепловой поток отводится от изделия через поверхность, определяемую длиной и периметром зоны контакта. Длина зоны контакта в общем случае не равна общей длине калибратора и зависит от многих факторов: теплофизических свойств материала, скорости экструзии, удельного давления калибрования. Вследствие усадочных явлений в результате охлаждения и кристаллизации (для кристаллизующихся полимеров) происходит уменьшение наружных размеров профиля и нарушение теплового контакта. Для компенсации усадки по длине вакуумного калибратора должно создаваться повышенное разрежение (для полых, камерных и некоторых сплошных изделий) или канал должен уменьшаться по наружным размерам к выходу на величину линейной усадки. На практике применяют первый способ, так как для второго необходимо знание величины усадки в зависимости от свойств материала и конкретных условий экструзии.

При охлаждении калибратора холодной водой температуру на поверхности калибрующих каналов до начала экструдирования профиля можно принять равной температуре воды. Контакт с горячим расплавом изменяет температуру на поверхности калибратора в направлении его длины довольно сложным образом. При плотном контакте с экструдатом с достаточной степенью точности можно принять среднюю температуру по длине постоянной.

При «сухом» калибровании теплообмен между экструдатом и калибратором осуществляется в основном путем теплопроводности

через стенку изделия. При вакуумном калибровании полых профилей полагают, что внутренняя стенка профиля находится в адиабатических условиях, так как можно пренебречь влиянием на теплообмен воздуха, находящегося во внутренней полости изделия. Охлаждение сплошных профилей зависит от характера контакта с калибратором. В большинстве случаев контакт имеет место только с одной стороны, поскольку при двухстороннем контакте резко возрастают силы трения, что может вызвать заклинивание профиля между формообразующими деталями калибратора. Введение водяной смазки и некоторое увеличение зазора между формообразующими деталями позволяет получать изделия высокого качества при интенсивном охлаждении профиля с обеих сторон.

Изменение температуры по толщине стенки профиля описывается уравнениями нестационарной теплопроводности в одномерной или двухмерной формах. Для изделий, у которых габаритные размеры во много раз больше толщины стенки, без большой погрешности можно принять одномерную форму уравнений. Для толстостенных сплошных изделий, например толстостенных плит, требуется двухмерная форма уравнения. Двухмерная нестационарная теплопроводность в полимерах относится к весьма сложным вопросам, еще сравнительно мало изученным, поэтому рассмотрение ее выходит за пределы обсуждаемой темы.

Уравнение одномерной нестационарной теплопроводности в прямоугольных координатах для изделия с толщиной стенки h может быть представлено в виде

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = -\frac{\partial}{\partial h} \left(a \frac{\partial T}{\partial h} \right), \quad (4.101)$$

где a – коэффициент температуропроводности, равный $\frac{\lambda}{\rho C_p}$, а вхо-

дящие в него величины теплопроводности λ , плотности ρ и теплоемкости C_p являются функциями температуры.

Уравнение решается конечно-разностными численными методами при заданных граничных и краевых условиях. Для расчета необходимо иметь температурные зависимости теплофизических свойств полимеров. Расчет позволяет проследить изменение температуры по слоям толщины стенки во времени (или по длине калибратора) в зависимости от конкретных параметров процесса: производительности, температуры расплава, температуры охлаждающей воды и т. д.

Анализ результатов расчета позволяет целенаправленно конструировать калибрующее и охлаждающее устройства или регулировать параметры технологического процесса. Такой метод расчета целесообразен для высокоскоростной экструзии крупнотоннажных партий труб или профилей, поскольку неправильное определение длины пути охлаждения приводит к большим материальным затратам.

Распределение температуры по сечению охлаждаемого изделия и время образования несущего слоя, способного противодействовать внешним нагрузкам при заданных технологических параметрах процесса, рассчитывают по известным температурным зависимостям теплопроводности, плотности, теплоемкости и модуля упругости материала. Неплотный контакт экструдата с калибратором из-за усадочных явлений или других причин может давать значительные отклонения фактических параметров по сравнению с расчетными. Поэтому при подобных расчетах вводят определенные допущения, которые на практике не всегда удается обеспечить.

Анализ изменения теплофизических характеристик различных термопластов в зависимости от температуры показывает, что удельная теплоемкость большинства материалов близка по значению, ее величина не зависит от гидростатического давления, незначительно увеличивается (на 15–30%) с возрастанием температуры на 373 К в областях выше и ниже областей температурных переходов и резко повышается (в 5–10 раз) в области плавления полимера.

Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности также имеют близкие значения для большинства промышленных полимеров. Теплопроводность в стеклообразном состоянии увеличивается с повышением температуры, а у расплавов термопластов она практически не изменяется. У поликристаллических полимеров значения коэффициента теплопроводности снижаются с возрастанием температуры. Чем меньше степень кристалличности полимера, тем ниже его теплопроводность. Изменение значения коэффициента может достигать 30–40%.

Теплопроводность значительно зависит от степени ориентации полимера. Ее значение для твердых термопластов возрастает в направлении ориентации в 5–10 раз по сравнению с неориентированным материалом и снижается на 20–30% в поперечном направлении. По-видимому, аналогичное явление должно наблюдаться и в ориентированных расплавах полимеров.

Значения теплофизических характеристик некоторых термопластов приведены в табл. 4.29.

Таблица 4.29

Теплофизические свойства некоторых полимеров

Полимер	c , кДж/кг·К	λ		α , 10^{-6} м ² /с	$T_{пл}$, К	T_c , К	Теплота плавления, кДж/моль
		Вт/м	К				
ПЭВП	1,8–2,4 2,5–4,3	0,4–0,50	293–373	1,9–2,5 1,0–1,3	393–404	143	7,54–8,38
ПЭНП	2,0–3,5 2,4–4,0	0,29–0,45 0,28–0,38	293–343	1,4–1,6 1,1–1,2	376–388	138	–
ПП	1,7–1,9	0,12–0,25	293–403	1,3	433–445	277	8,79–10,89
ПС	1,2–1,8	0,14–0,18	293–368	1,1–1,3	–	373	8,38–10,00
ПА-6	1,7–2,5	0,27–0,28	293–423	1,0–1,6	488–501	223	21,78–23,46
ПА-610	1,8–2,0	0,19–0,20	293–423	1,0–1,6	486–495	–	54,47–56,56
ПА-12	1,9–2,0	0,27–0,28	293–423	0,9–1,3	451–453	–	–
ПА-66	–	0,25	293–423	2,4	540	214	44,40–46,00
ПК	1,2–2,4	0,20–0,28	293–423	1,5–2,7	493–513	416–424	–
ПФА и сополимеры формальдегида	1,2–2,3	0,18–0,30	293–423	0,8–1,4	446–453	151	7,12
ПЭТФ	1,0–2,3	0,21–0,28	293–513	1,0–1,6	498–540	347	22,62–24,30
ПБТФ	2,2–2,6 2,7–3,5	0,25–0,30 0,29–0,34	293–473	1,1–1,3 1,1–1,4	496–500	316	–
ПММА	1,3–1,7	0,19–0,20	293–360	0,9–1,1	–	368–378	–
ПСФ	2,5–4,0	0,20–0,22	293	0,6–1,7	–	463–468	–

Удельную теплоемкость в различных температурных интервалах с приемлемой для практических расчетов точностью можно рассчитать по формулам, приведенным в табл. 4.30.

Таблица 4.30

**Удельная теплоемкость в различных температурных интервалах
для некоторых термопластов**

Температура, °С	C_p , кДж/(кг·°С)
<i>ПЭВП</i>	
20–120	$18,8T + 262$
120–128	$1\,080T + 127\,500$
138–134	$-1\,470T + 198\,500$
134–180	$8T + 1\,380$
<i>Наполненные композиции ПВХ</i>	
20–140	$3,07T + 778$
140–180	$-4,48T + 1\,820$
<i>Пластифицированный ПВХ</i>	
20–180	$5T + 960$
180–200	$-10T + 3\,660$
<i>Полистирол</i>	
20–110	$7,3T + 686$
110–150	$-8,95T + 246$
150–190	$3,5T + 630$

Экспериментальный анализ охлаждения калибруемых профильных изделий проводился с помощью специальных миниатюрных термопар, устанавливаемых в стенках калибратора на разной глубине от поверхности канала. Температура контролировалась только в характерных точках профиля, где наблюдается неизбежное нарушение температурного равновесия в системе охлаждения. На рис. 4.167 показаны зоны на поверхности камерных и сплошных профилей из ПВХ, для которых производились вычисления.

Экспериментально установлено, что на входе в калибратор при контакте с расплавленной заготовкой происходит резкое повышение температуры стенок калибратора, что приводит к ухудшению процесса теплопередачи. Этот же факт был установлен при исследовании охлаждения полиолефиновых труб и труб из НПВХ.

Процесс охлаждения наружной поверхности завершается практически полностью уже на расстоянии примерно 80 мм от входа

в калибратор. Решающее влияние на процесс охлаждения полых профилей оказывает наличие контакта между охлаждаемой стенкой калибратора и поверхностью экструдированного профиля, обеспечиваемого вакуум-насосом.

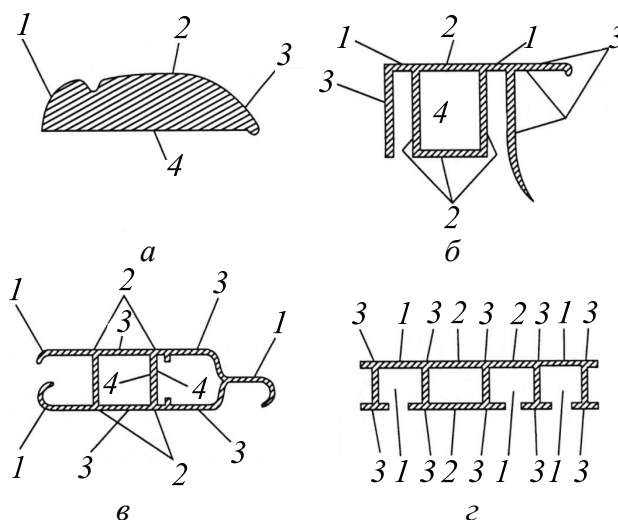


Рис. 4.167. Зоны на поверхности профилей из ПВХ:
а – молдинг-накладка из пластифицированного ПВХ (сплошной профиль);
б – картинная рама (полый профиль);
в – жалюзийная планка (камерный профиль);
г – планка (камерный профиль)

Коэффициенты теплоотдачи существенно различаются для разных участков профиля, однако диапазон изменения соответствующих значений α приблизительно одинаков по порядку величины. Наиболее высокие значения коэффициента наблюдаются для плоского участка 1, где обеспечивается хороший контакт расплава со стенками калибратора ($1700\text{--}2100 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$). В зоне двухстороннего охлаждения стенки 2 выступа 3 α составляет $600\text{--}900$, так как здесь проявляется влияние свободной термической усадки материала, ухудшающей контакт между расплавом и стенками калибратора и, соответственно, теплоотдачу.

Значения α минимальны для Т-образного участка. В таких зонах из-за медленного охлаждения, обусловленного концентрацией полимерной массы, наблюдается склонность к образованию утяжек и к ухудшению контакта. Среднее значение α для такого элемента находится в пределах $360\text{--}560 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

В табл. 4.31 приведены значения коэффициентов теплоотдачи для некоторых типов камерных профилей из жесткого ПВХ.

Таблица 4.31

**Значения коэффициентов теплоотдачи для некоторых типов
камерных профилей из жесткого ПВХ**

Профиль, тип профиля, материал	Способ калибрования, охлаждения	Температура охлаждающей среды, °С	Зона охлаждения	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)
Молдинг-накладка, сплошной, пластифицированный ПВХ	Воздушное	25	1–4	5
		10	1	420
			2	340
			3	420
	Охлаждение разбрызгиванием	10	4	420
			1	220
			2	180
			3	220
Жалюзийная планка, камерный, НПВХ	Вакуумный сухой калибратор	25	4	310
			1	600
			2	570
			3	1660
Картинная рама, полый, НПВХ	Вакуумный сухой калибратор	15	4	0
			1	1470
			2	1500
			3	820
Планка, камерный, НПВХ	Вакуумный сухой калибратор	15	4	0
			1	1730
			2	1030
			3	1990

Точность расчета невелика, и даже при точном расчете экструзионной головки и зоны охлаждения нет гарантии рентабельного производства профильных изделий из ПВХ. Во избежание ошибок необходим целенаправленный технологический и качественный контроль процесса и изделия.

Приведенные данные могут быть использованы для ориентировочной оценки интенсивности охлаждения и влияния конструкции профиля на теплообмен и коробление изделий.

Полагают, что при экструзии профилей сложной формы невозможно сделать однозначный вывод об общем характере теплопередачи

от поверхностного контура к стенкам калибратора, как в случае охлаждения плоских или трубообразных профилей.

Реологический анализ материалов, оптимизация оснастки с помощью технологий компьютерного моделирования, качественное исполнение металлических деталей сделали возможным создание технологической оснастки для экструзии профилей с производительностью до 500 кг/ч, а при применении многоручьевой экструзии – и до 1500 кг/ч. «Экономичная граница» производства профилей методом экструзии находится сегодня примерно на уровне 400 кг/ч для одноручьевой экструзии и 800 кг/ч – для двухручьевой.

Необходимость предварительного расчета охлаждения особенно очевидна при экструзии толстостенных изделий: массивных профилей, стержней, плит. Это обусловлено специфической технологией изготовления стержней и плит. В отличие от «тянущей» обычной технологии производство стержней и плит можно отнести к «толкающей» технологии, при которой тянущее устройство не применяется, а охлажденное изделие непрерывно и равномерно выталкивается работающим шнеком из блока охлаждения, установленного вплотную к экструзионной головке. Ошибка в выборе оборудования и длины калибратора не позволит получить качественное изделие.

Рассмотрим метод определения пути охлаждения с помощью тепловой аналогии. Суть ее состоит в следующем. Основным безразмерным критерием процессов охлаждения является критерий Фурье, значение которого может быть вычислено по простой формуле:

$$Fo = \frac{a\tau}{h^2}, \quad (4.102)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$; τ – время охлаждения, ч; h – толщина стенки, м.

Основное положение расчета состоит в том, что при экструзии геометрически подобных изделий одинаковые условия охлаждения обеспечиваются при равенстве критериев Фурье. Таким образом, согласно этому условию, длину зоны охлаждения можно рассчитать на основании известного из практики случая для производства пленки, листов, труб, профилей.

Время охлаждения зависит от скорости движения изделия V_o в зоне охлаждения длиной L_k :

$$\tau = \frac{L_k}{V_o}. \quad (4.103)$$

С учетом (4.102), (4.103) критерий Fo можно представить в виде

$$Fo = \frac{\lambda}{\rho C_p} \frac{L_k}{V_o h^2}. \quad (4.104)$$

Одинаковые условия охлаждения соответствуют равенству $Fo_0 = Fo$, где Fo_0 – известное значение показателя для геометрически подобного изделия; Fo – значение критерия для рассчитываемого случая охлаждения.

Из выражения (4.104) может быть рассчитана длина пути охлаждения рассматриваемого изделия:

$$L_k = Fo_0 V_o h^2 \frac{\rho C_p}{\lambda}. \quad (4.105)$$

Приравнивать критерии Fo допускается только для геометрически подобных изделий из разных материалов, для одинаковых материалов при разной производительности процесса, и нельзя сравнивать охлаждение, например, трубы с листом или пленкой.

Профильные изделия состоят из участков различной геометрии – прямоугольных, круглых сплошных, кольцеобразных. По условиям охлаждения эти участки могут быть схожими с охлаждением листа, трубы или прутка при стренговом гранулировании. Например, трубообразный профиль, очевидно, охлаждается так же, как труба равного внешнего периметра; камерный профиль, состоящий из замкнутого и открытого участков, охлаждается различным образом на замкнутой полости и открытом участке: в первом случае – как труба, во втором – как лист или толстая пленка. Поэтому при определении длины охлаждения профильного изделия необходимо правильно выбрать теплофизический аналог.

В выражение (4.105) входит линейная скорость отвода изделия, которая связана с весовой производительностью экструзионной установки G . В табл. 4.32 приведены формулы для расчета G и Fo для известного случая экструзии и L_k для рассматриваемого случая охлаждения.

Таблица 4.32

**Формулы для расчета G и Fo для известного случая экструзии и L_k
для рассматриваемого случая охлаждения**

Изделие	G , кг/ч	Fo_0	L_k
Лист, плоская пленка	$bhpV_o$	$\frac{\lambda}{C_p} \frac{b}{h} \frac{L_k}{G}$	$\frac{C_p}{\lambda} \frac{h}{b} G Fo_0$
Труба, рукавная пленка	πDhV_o	$\frac{\lambda}{C_p} \frac{\pi D}{h} \frac{L_k}{G}$	$\frac{C_p}{\lambda} \frac{h}{\pi D} G Fo_0$
Стренги (прутки) цилиндрические	$\frac{\pi}{4} d^2 \rho z V_o$	$\frac{\lambda}{C_p} \frac{\pi z}{4} \frac{L_k}{G}$	$\frac{C_p}{\lambda} \frac{4}{\pi z} G Fo_0$

Примечание. b – ширина листа или плоской пленки; h – толщина стенки пленки, листа, трубы; D – наружный диаметр трубы или рукава рукавной пленки; z – количество прутков при стренговом гранулировании.

ПРИМЕР. Определить длину охлаждения при изготовлении квадратной трубы $22 \times 22 \times 2,5$ из жесткого ПВХ (масса 1 м – 273 г) на установке с производительностью 150 кг/ч.

Известно, что на технологической линии с максимально возможной производительностью 80 кг/ч эта труба отводится со скоростью 4,3 м/мин (фактическая производительность $G = 68$ кг/ч). Калибрование квадратной трубы осуществляется в вакуумной ванне с помощью разъемных вакуумных втулок. Длина пути калибрования 0,6 м, длина пути охлаждения – 4 м.

Теплофизические характеристики ПВХ при 20°C:

$$\lambda = 0,14 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}; \quad C_p = 0,20 \text{ ккал/(кг} \cdot \text{°C)};$$

$$\rho = 1,4 \text{ г/см}^3.$$

При температуре 200°C $C_p = 0,43$ ккал/(кг·°C).

При средней температуре в зоне контакта профиля с калибратором $C_p = 0,32$ ккал/(кг·°C). Теплопроводность λ от температуры зависит незначительно.

Для известного (базового) случая охлаждения число $Fo = 0,1165$.

Расчетная скорость отвода квадратной трубы $V_o = 9,16$ м/мин, для такой скорости длина пути калибрования $L_k = 1,32$ м, что более чем вдвое превышает длину втулок в первом случае, $Fo = 0,7767$, общая длина пути охлаждения трубы – 8,86 м.

Таким образом, в линии должно быть установлено не менее двух охлаждающих ванн длиной по 4 м или же процесс с такой скоростью следует осуществлять по двухручьевой схеме.

Подобный метод расчета достаточно прост и позволяет быстро определить необходимые величины на основе правильно выбранных тепловых аналогов, хотя и не дает распределение температуры по толщине стенки изделия.

4.5.11. Фильтры

Чтобы удалить из расплава частицы посторонних примесей или частицы того же самого материала, но обладающие иной (чаще всего более высокой) степенью полимеризации, между экструдером и головкой устанавливают различные типы фильтрующих устройств. Фильтры перед рассекателем потока обычно ставятся для удаления примесей из расплава. Грубые фильтры (с небольшим количеством ячеек) обычно помещаются перед рассекателем потока в качестве поддерживающего элемента, перед которым последовательно устанавливаются более тонкие фильтры.

Типичный пакет фильтров состоит из одного 100-ячеечного фильтра, за которым следуют по одному 60- и 30-ячеечному, при этом 30-ячеечный фильтр устанавливается непосредственно перед рассекателем потока. При некоторых экструзионных операциях необходимо использовать более двадцати 325-ячеечных фильтров, усиленных более грубыми фильтрами.

Наиболее важными типами фильтрующих устройств являются следующие типы фильтров:

- из металлической сетки;
- металлокерамические (изготовленные методами порошковой металлургии);
- «хаотичные нити».

Проволочную сетку производят в виде квадратного плетения или «голландской пряжи» (параллельно-диагональное плетение). Данные типы фильтрующих устройств различаются по способности задерживать примеси, захватывать гелеобразные частицы и прочим параметрам. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик приведен в табл. 4.33.

Стандартные проволочные сетки плохо удаляют примеси; единственным преимуществом фильтров данного типа является высокая проницаемость. Естественно, что при необходимости более хорошей очистки следует применять другие фильтрующие устройства.

Хаотичные нити лучше улавливают гель и задерживают примеси. Проблемы, связанные с гелеобразованием, возникают при экструзии маломерных изделий, таких как тонкие нити и пленки, – именно в таких случаях следует использовать «хаотичные нити».

Таблица 4.33

Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик фильтров

Эксплуатационные характеристики	Проволочная сетка с квадратной ячейкой	Проволочная сетка «голландская пряжа»	Спекшийся порошок	Хаотичные нити
Захват геля	Плохо	Нормально	Хорошо	Очень хорошо
Очистка от примесей	Нормально	Хорошо	Нормально	Очень хорошо
Проницаемость	Очень хорошо	Плохо	Нормально	Хорошо

Фильтрация полимерных расплавов требует поддержания потерь давления на допустимом уровне, выполнения определенных требований к однородности потока, удобству обслуживания фильтра и т. п. Чтобы обеспечить минимальное время пребывания расплава в головке и его распределение по фильтрующему устройству, для эксплуатации применяют только фильтрующие устройства, в которых фильтр большой площади размещается в корпусе небольшого объема. Лучше всего эти требования удовлетворяются при размещении фильтрующих вставок в виде свечи по концентрическим окружностям или использовании вставок в виде дисков. Фильтры закрепляются на перфорированных решетках или между ними, что позволяет отфильтрованному расплаву течь к выходу из головки.

При наличии большого количества примесей в расплаве полимера будет происходить очень быстрое засорение фильтра. При необходимости частой смены фильтра обычно применяют автоматическое устройство для замены фильтров. В таком устройстве осуществлен непрерывный контроль за перепадом давления на фильтре, и если перепад достигает определенной критической величины, гидравлический поршень выдвигает рассекатель потока с кассетой фильтров из экструдера, одновременно помещая в экструдер новую кассету с рассекателем и чистыми фильтрами. Такое устройство

называется устройством для замены фильтров со скользящими пластинами (рис. 4.168).

При некоторой доработке фильтра операция по его смене может протекать даже без остановки экструдера. При этом необходимо удалить старый фильтр и поставить на его место чистый, после чего аппарат готов к новому циклу работы. В случае сильной загрязненности полимера замена фильтра может потребоваться через каждые 5–10 мин, хотя, как правило, время загрязнения одного фильтра исчисляется часами.

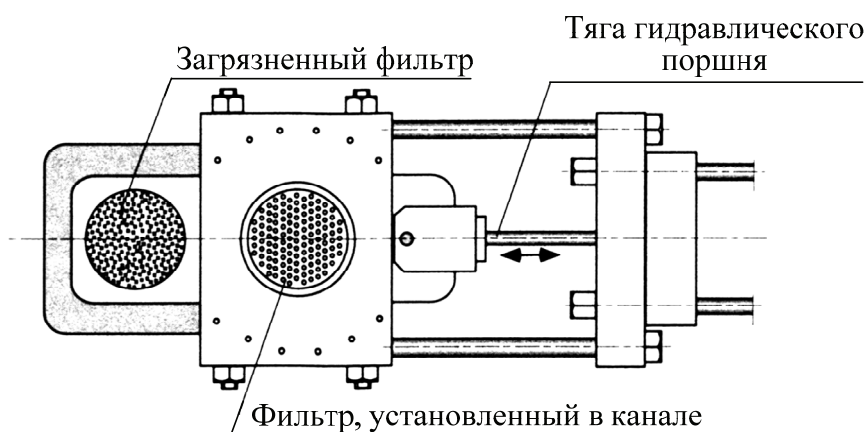


Рис. 4.168. Устройство для замены фильтров со скользящими пластинами

Рассекатель потока оставляет очень мало пространства для размещения фильтра. При необходимости более тщательного фильтрования можно использовать систему непрерывной подачи фильтров. В таком устройстве могут использоваться фильтрующие материалы, обладающие большой удельной площадью поверхности, т. е. способные удалить относительно большее количество примесей. Сейчас на рынке существуют разнообразные фильтрующие элементы различных форм: цилиндрической, цилиндрической с гофрированием, а также в виде плоских дисков. Многие фильтрующие элементы рассчитаны на замену без остановки потока, т. е. без остановки экструдера.

Существует также тип фильтрующих систем, называемый «автофильтром». В такой системе длинная металлическая сетка медленно, но непрерывно движется поперек направления движения расплава (рис. 4.169). При этом движение ленты может осуществляться как за счет поперечных сил, возникающих из-за перепада давления на фильтрующем элементе, так и под действием

специального привода. Автофильтр позволяет некоторому количеству полимера вытекать наружу, за счет чего удаляются примеси, а также обеспечивается герметичность установки вследствие образования затвердевшего или вязкого слоя полимера. Однако поддержание герметичности требует прецизионного контроля необходимой температуры, поскольку понижение температуры вызывает застревание сетки, а повышение – значительное понижение герметичности.

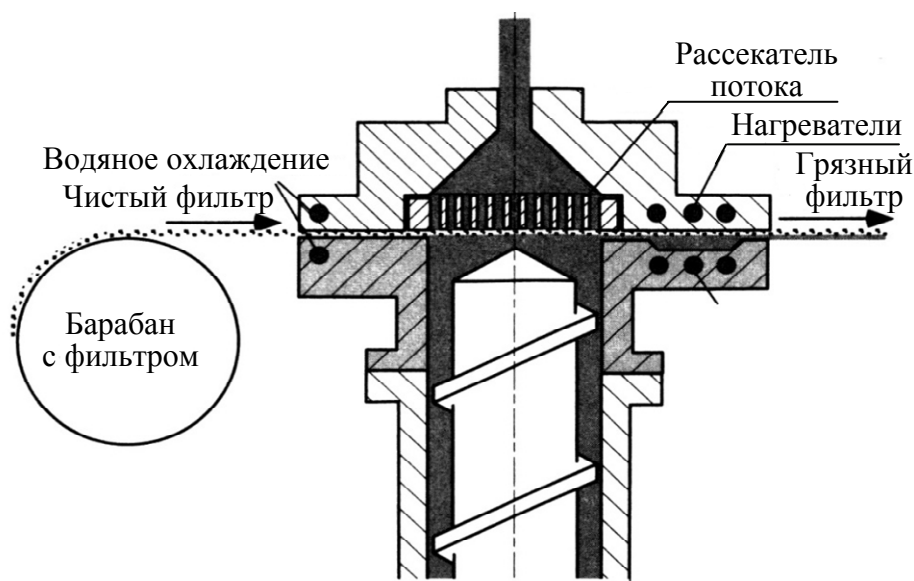


Рис. 4.169. Автофильтр

Эффективность фильтра определяется массовым расходом через фильтр, площадью фильтрования, размером отверстий, объемным расходом и потерями давления при этих данных и физическими свойствами фильтра. При производстве стренг через головки с фильтрующими площадями от 0,5 до 7 м² возможны массовые расходы свыше 1000 кг/ч.

Интересную разработку в этой области представляют собой автоматические системы фильтрации расплава. К преимуществам таких систем относят компактность, отсутствие возмущений при течении, удобство эксплуатации. Пример автоматизированной системы фильтрации показан на рис. 4.170. Пакет фильтров расположен между двумя перфорированными решетками. Так называемый щуп (или чистящий скребок 5) закреплен на валу привода 9 и касается стенки камеры на входе расплава.

При вращении он способен достигать любой точки поперечного сечения фильтра. Щуп начинает вращаться всякий раз, когда давление превышает предельно допустимое значение за счет закупорки отверстий фильтрующих элементов. Как только скребок изменяет свое первоначальное положение, загрязненный поток вследствие возрастания давления начинает течь в обратном направлении через пакет фильтрующих элементов и перфорированные решетки. Это обратное течение продавлиывает отфильтрованные частицы загрязнений через отверстия, которые ранее были закрыты скребком. Далее частицы загрязнений удаленные из пакета фильтрующих элементов, проходят через полый приводной вал скребка и выводятся наружу. В зависимости от типа перерабатываемого полимера, степени и вида загрязнений производительность системы, приведенной на рис. 4.170, может достигать 500 кг/ч.

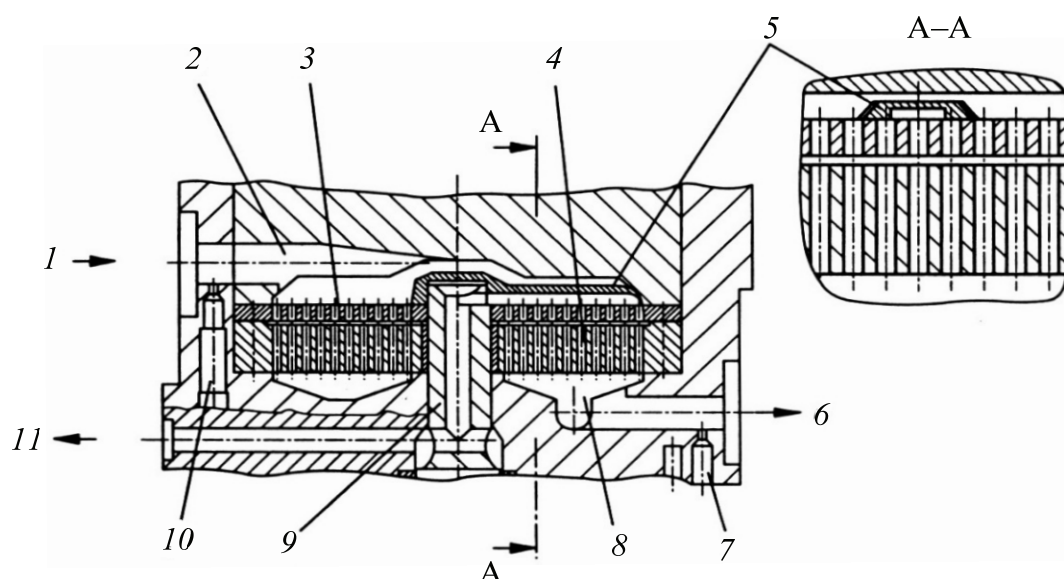


Рис. 4.170. Пример автоматизированной системы фильтрации:
1 – загрязненный расплав; 2 – камера входа расплава; 3 – пакет фильтрующих элементов; 4 – пакет решеток; 5 – очищающие скребки; 6 – чистый расплав;
7, 10 – место установки датчика давления; 8 – выпускная камера;
9 – приводной вал; 11 – концентрированные загрязнения

В заключение следует отметить, что хотя фильтры и нельзя отнести к категории формующего инструмента, выбор той или иной его конструкции определяется преимущественно типом того изделия, для которого проектируется головка, и выбор этот, естественно, должен быть сделан конструктором головки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торопов, Ю. А. Припуски, допуски и посадки гладких цилиндрических соединений. Припуски и допуски отливок и поковок: справочник / Ю. А. Торопов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2007. – 688 с.
2. Иосилевич, Г. Б. Прикладная механика: справ. пособие / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов. – М.: Высшая школа, 1989. – 351 с.
3. Оссвальд, Т. Литье пластмасс под давлением / Т. Оссвальд, Л.-Ш. Тунг, П. Дж. Грэмман; пер. с англ.; под ред. Э. Л. Калинчева. – СПб.: Профессия, 2006. – 712 с.
4. Мэллой, Р. А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением / Р. А. Мэллой; пер. с англ.; под ред. В. А. Брагинского, Е. С. Цобкалло, Г. В. Комарова. – СПб.: Профессия, 2006. – 512 с.
5. Рэвяка, М. М. Разлік і канструяванне пластмасавых вырабаў і формаў: вучэб. дапаможнік / М. М. Рэвяка, В. М. Каспяровіч. – Мінск: БДТУ, 2002. – 357 с.
6. Володин, В. П. Экструзия профильных изделий из термопластов: справочник / В. П. Володин. – СПб.: Профессия, 2005. – 480 с.
7. Фишер, Дж. М. Усадка и коробление отливок из термопластов: справочник / Дж. М. Фишер; пер. с англ.; под ред. В. А. Брагинского, Д. В. Кобыличенко. – СПб.: Профессия, 2009. – 424 с.
8. Справочник по технологии изделий из пластмасс / Г. В. Сагалаев [и др.]; под общ. ред. Г. В. Сагалаева. – М.: Химия, 2000. – 424 с.
9. Пантелеев, А. П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А. П. Пантелеев, Ю. М. Шевцов, И. А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
10. Менгес, Г. Как делать литые формы / Г. Менгес, В. Микаэли, П. Морен; пер. с англ.; под ред. В. Г. Дувидзона, Э. Л. Калинчева. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
11. Басов, Н. И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: учеб. для вузов / Н. И. Басов, В. А. Брагинский, Ю. В. Казанков. – М.: Химия, 1991. – 352 с.

-
12. Гольдберг, И. Е. Пути оптимизации литьевой оснастки: Ее величество литьевая форма / И. Е. Гольдберг. – СПб.: Профессия, 2009. – 288 с.
 13. Шерышев, М. А. Пневмовакуумформование / М. А. Шерышев. – СПб.: Профессия, 2010. – 192 с.
 14. Росато, Д. Раздувное формование: справочник / Д. Росато, А. Росато, Д. ДиМаттиа; пер. с англ.; под ред. О. Ю. Собся. – 2-е изд. – СПб.: Профессия, 2008. – 656 с.
 15. Шварцман, П. Термоформование. Практическое руководство / П. Шварцман, А. Иллиг (ред.); пер. с англ.; под ред. М. А. Шерышева. – СПб.: Профессия, 2007. – 288 с.
 16. Микаэли, В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: конструкции и технические расчеты / В. Микаэли; пер. с англ.; под ред. В. П. Володина. – СПб.: Профессия, 2007. – 472 с.
 17. Унгер, П. Технология горячеканального литья / П. Унгер; пер. с англ.; под ред. В. Дувидзона. – СПб.: Профессия, 2009. – 208 с.
 18. Казмер, Д. О. Разработка и конструирование литьевых форм / Давид О. Казмер; пер. с англ.; под ред. В. Г. Дувидзона. – СПб.: Профессия, 2011. – 464 с.
 19. Кран, Г. 1000 примеров конструкций для литья под давлением / Г. Кран, Д. Эх, Х. Фогель; пер. с нем.; под ред. А. П. Пантелеева, А. А. Пантелеева. – СПб.: Профессия, 2011. – 560 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	4
1.1. Основные термины и определения	4
1.1.1. Размеры, отклонения, допуски	4
1.1.2. Сопряжение деталей. Система отверстия и система вала	7
1.2. Системы допусков и посадок для гладких деталей и соединений	12
1.2.1. Единицы допусков	14
1.2.2. Ряды допусков	15
1.2.3. Нанесение размеров, предельных отклонений и посадок на чертежах	17
1.3. Шероховатость поверхности	27
1.3.1. Основные термины и определения	27
1.3.2. Нормируемые параметры шероховатости	28
1.3.3. Выбор параметров шероховатости и их числовых значений	29
1.3.4. Обозначение шероховатости на чертеже	36
2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ	44
2.1. Процесс конструирования	44
2.2. Четыре основных элемента конструирования изделий из полимерных материалов	48
2.2.1. Материал	49
2.2.2. Конструкция изделия	50
2.2.3. Проектирование литевой формы	52
2.2.4. Технологический процесс	53
2.3. Изготовление прототипов пластмассовых изделий	56
2.4. Основы прочностного расчета изделий из пластмасс	61
2.5. Особенности конструкции, обусловленные технологическими требованиями	70
2.5.1. Технологические уклоны	70
2.5.2. Стенки	72

2.5.3. Радиусы закруглений	76
2.5.4. Углубления и выступы	78
2.5.5. Ребра жесткости	80
2.5.6. Оформление торцов изделий	84
2.6. Проектирование конструктивных элементов изделий	85
2.6.1. Проектирование отверстий	85
2.6.2. Проектирование резьбы	89
2.6.3. Накатка и рифление	97
2.6.4. Надписи на деталях	100
2.7. Армирование изделий из пластмасс	103
2.7.1. Требования к арматуре и ее расположению в изделии	104
2.7.2. Способы закрепления арматуры в изделии	112
2.8. Разъемные и неразъемные соединения из пластмасс	115
2.8.1. Болтовые и заклепочные соединения	115
2.8.2. Замковые соединения	117
2.8.3. Соединение сваркой	122
2.8.4. Соединение склеиванием	127
2.9. Экструзионные профильные изделия	130
2.9.1. Назначение, области применения и классификация профильных изделий	130
2.9.2. Выбор материала для производства профильных изделий	132
2.9.3. Общие требования к конструкции профильных изделий	137
2.10. Точность изготовления деталей из пластмасс	141
2.10.1. Конструкции изделий и остаточные напряжения	141
2.10.2. Точность и взаимозаменяемость изделий	146
2.10.3. Усадка и ее колебание при формовании изделий	151
2.10.4. Оценка точности при литье под давлением и прессовании	156
2.10.5. Оценка точности при пневмовакуумном формовании	160
2.10.6. Точность при экструзии	163
3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНАСТКИ	166
3.1. Исходные данные для проектирования	166
3.2. Расчет гнездности	168

3.3. Материалы для изготовления оснастки	171
3.3.1. Стали	171
3.3.2. Технологические процессы изготовления и сборки оснастки	177
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	181
4.1. Формы для литья под давлением	181
4.1.1. Основные элементы литьевых форм	181
4.1.2. Системы литьевых форм	183
4.1.3. Строение и принцип действия литьевых форм	186
4.1.4. Заполнение оформляющей полости формы	191
4.1.5. Система формообразующих деталей	198
4.1.6. Системы литниковых каналов	204
4.1.7. Система центрирования и перемещения	229
4.1.8. Система размещения, установки и крепления форм	239
4.1.9. Система охлаждения и регулирования температуры формы	244
4.1.10. Система удаления отливок из формы	254
4.2. Формы для прессования (пресс-формы)	264
4.2.1. Назначение, конструкция и принцип действия форм для прессования	264
4.2.2. Взаимодействие формы с прессом	272
4.2.3. Система формообразующих деталей пресс-форм	273
4.2.4. Расчет деталей пресс-форм	279
4.2.5. Система обогрева пресс-форм	290
4.2.6. Система удаления изделий из оформляющей полости	294
4.3. Оснастка для раздувного формования	296
4.3.1. Сущность метода	296
4.3.2. Формующий инструмент	299
4.3.3. Формы для раздувного формования	306
4.4. Оснастка для пневмовакуумного формования	319
4.4.1. Технологические разновидности формующего инструмента	319
4.4.2. Факторы, определяющие выбор конструкции формы	323
4.4.3. Формообразующие детали	329
4.4.4. Вентиляционные каналы	336

4.5. Формующий инструмент экструдеров	339
4.5.1. Общее устройство и принцип действия экструзионных головок	339
4.5.2. Классификация головок	343
4.5.3. Факторы, определяющие конструктивное оформление головок	344
4.5.4. Гидравлический расчет головок	360
4.5.5. Головки кольцевого профиля	362
4.5.6. Плоскощелевые головки	368
4.5.7. Головки для производства сложного профиля	379
4.5.8. Головки для соэкструзии термопластов	388
4.5.9. Механические расчеты экструзионных головок	393
4.5.10. Калибрующие устройства	396
4.5.11. Фильтры	421
ЛИТЕРАТУРА	426

Учебное издание

Ревяко Михаил Михайлович
Касперович Ольга Михайловна

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

Учебник

Редактор *Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *Е. В. Ильченко*
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 08.11.2012. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 25,1. Уч.-изд. л. 25,0.
Тираж 150 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Переплетно-брошюровочные процессы произведены
в ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».
Ул. Корженевского, 20, 220024, г. Минск. Заказ .